This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

NYU RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06908002 0

TRAITÉ

DES

GÎTES MINÉRAUX

ET

MÉTALLIFÈRES

TRAITÉ

DES

GÎTES MINÉRAUX

ET

MÉTALLIFÈRES

RECHERCHE, ÉTUDE
ET CONDITIONS D'EXPLOITATION DES MINÉRAUX UTILES
DESCRIPTION DES PRINCIPALES MINES CONNUES
USAGES ET STATISTIQUE DES MÉTAUX

COURS DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE
DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DES MINES

PAR

Ed. FUCHS
Ingénieur en chef des Mines
Professeur à l'Ecole supérieure des Mines

L. DE LAUNAY
Ingénieur au Corps des Mines
Professeur à l'Ecole supérieure des Mines

TOME PREMIER

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MAISON A LIÈGE, RUE DES DOMINICAINS, 7

1893

Tous droits réservés.

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
48532A
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS
R 1922 L

PRÉFACE

Le cours de géologie appliquée, créé à l'École des Mines en 1879 par M. Fuchs, a été professé par lui, sans interruption, pendant dix ans, jusqu'à sa mort survenue le 7 septembre 1889. Conçu dans un esprit absolument nouveau, cet enseignement montrait, pour la première fois, le parti à tirer des connaissances géologiques les plus élevées pour l'appréciation et la mise en valeur des gîtes minéraux et métallifères. Son programme comportait l'étude successive de chacune des substances utiles renfermées dans l'écorce du globe, la description de ses principaux gisements méthodiquement classés, l'examen théorique et scientifique de leur mode de formation et, en même temps, ce qui n'avait été fait jusqu'alors dans aucun travail d'ensemble, un résumé des questions industrielles que comporte son extraction.

C'était combler une lacune depuis longtemps regrettée par tous les ingénieurs, qui ont eu à constituer ou à apprécier quelque industrie minérale nouvelle. Il le faisait, d'ailleurs, avec toute l'abondance d'informations que lui assuraient, et sa longue expérience des gîtes métallifères, et les innombrables voyages qu'il avait accomplis dans tous les pays du monde pour visiter

des mines en formation et donner son avis sur elles. Aussi tous ceux qui avaient eu le bonheur de l'entendre le pressaient-ils de publier les notes si précieuses qu'il avait partout recueillies. Mais, comme l'a rappelé éloquemment M. de Lapparent dans un article nécrologique [1], le défaut de temps dans une existence si remplie et le désir de la perfection qui le préoccupait l'empêchèrent, jusqu'à la fin, d'exécuter ce projet.

Appelé à l'honneur de lui succéder après avoir été son élève, nous avons considéré, à la fois comme un hommage à une mémoire qui nous est chère et comme un service à rendre aux ingénieurs, d'utiliser les nombreux documents qu'il avait rassemblés et que Mme Fuchs a bien voulu nous confier, en réalisant, par une collaboration posthume, l'ouvrage général que la mort ne lui avait pas permis d'écrire.

Ces documents comprenaient, outre les articles déjà publiés par M. Fuchs lui-même, un grand nombre de rapports inédits sur les mines qu'il avait visitées : gisements français et espagnols de toutes natures ; pétroles, asphaltes et bitumes du Caucase, de Roumanie, de Galicie, etc. ; phosphates de Cacérès, de Logrosan, du Boulonnais, du Quercy ; sels de Stassfurt ; alunite de Toscane ; fer de la côte d'Arendal, de Tunisie, etc. ; calamine de Belgique, de Sardaigne, de Prusse ; cuivre de Toscane, du Boleo (Californie) ; plomb de Pontpéan, de l'Horcajo ; argent du Chili (Vallenar), du Mexique (Huacate, Sultepec), de la Sonora, etc. ; puis des commencements de rédaction pour quelques chapitres, en particulier ceux relatifs au carbone, aux phosphates, au soufre, au potassium et au zinc ; enfin de très nombreuses brochures, cartes et coupes de mines qu'il avait réunies.

Pour tirer parti de ces richesses, nous avions à choisir entre

[1] *Ann. des Mines*, 1890.

deux méthodes ; la première et la plus facile était de nous borner à un travail de rédaction et, en adoptant comme canevas les notes recueillies à son cours par ses élèves, d'y introduire simplement les parties déjà écrites par lui et le résumé de ses rapports inédits ; la seconde, qui nous a paru préférable, était de nous mettre au travail de notre côté et de traiter librement le sujet, à notre gré[1], c'est-à-dire de composer les chapitres, tels que ceux des pétroles américains, du sel, du plâtre, de l'aluminium, de l'étain, du cuivre, du plomb, de l'or ou de quelques métaux secondaires, pour lesquels les notes se trouvaient faire presque complètement défaut et, pour les autres, d'ajouter au produit de ses explorations les matériaux considérables que pouvaient nous fournir encore les littératures française et étrangère, ainsi que le fruit de nos propres voyages en France, Belgique, Autriche-Hongrie, Italie, Sardaigne, Espagne, Algérie, Asie-Mineure, Suède, Norvège, Silésie, Pologne, etc... Il nous a semblé que cette seconde méthode était celle qu'il eût choisie et qui répondait le mieux à sa pensée, puisqu'elle nous permettait de présenter un ouvrage plus complet et mieux proportionné. Mais elle nous a conduit à prendre, d'une façon générale, la parole en notre nom personnel et à assumer la responsabilité des théories que nous étions conduit à émettre parfois, malgré notre désir de rester le plus possible sur le terrain solide des faits[2]. C'est pourquoi nous avons attendu que quatre années de professorat nous eussent donné le loisir d'approfondir un peu un sujet aussi difficile avant de publier ce livre.

Tel qu'il est et quel qu'ait pu être notre désir d'apporter un esprit d'ordre et de critique dans un sujet où il entre une si

[1] Voir, dans les *Annales des Mines* de 1889 (8e série, t. XV), le programme du cours de géologie appliquée, tel que le concevait M. Fuchs.

[2] Nous signalerons, autant que possible, les points où les idées de M. Fuchs différaient de celles que nous exposerons.

grande part de compilation [1], nous ne nous dissimulons pas qu'on y trouvera encore bien des lacunes et bien des inexactitudes : nous serons heureux toutes les fois qu'on voudra bien nous donner le moyen de les réparer.

La *géologie appliquée*, telle que l'avait définie M. Fuchs, est l'application des connaissances géologiques à la recherche et à la mise en exploitation des substances minérales utiles.

On peut, dans l'exposition d'une matière aussi vaste, adopter plusieurs systèmes. C'est ainsi qu'en Allemagne V. Cotta, dans un traité qui répond à la partie scientifique de celui-ci, a suivi l'ordre géographique en ajoutant, à la fin de son livre, un tableau donnant la classification des gîtes par métal. Cet ordre nous paraît avoir, au point de vue théorique, l'inconvénient de séparer les gisements de même nature et de rendre difficiles les rapprochements entre eux. En outre, le praticien qui demande, avant tout, à être renseigné sur les gisements similaires de celui qu'il exploite, est obligé, pour se satisfaire, de feuilleter tout le volume.

Le Traité des gîtes métallifères de von Groddeck [2], mieux conçu peut-être en vue d'un enseignement scientifique, groupe les gîtes d'après leur allure, presque indépendamment de leur remplissage. Il en résulte des rapprochements à coup sûr intéressants et qui peuvent trouver leur place dans des leçons de préambule sur les généralités [3]; mais, avant tout, celui qui s'occupe de l'or désire s'instruire sur l'or et non sur le fer ou

[1] Nous sommes heureux de remercier ici, très vivement, M. Durassier, ingénieur civil des Mines, préparateur à l'École des Mines, qui a bien voulu nous apporter son concours dévoué dans les recherches bibliographiques et dans la confection des tables.

[2] Traduit en français par M. Küss (Dunod, 1880).

[3] Sur ces généralités, on peut consulter, outre von Groddeck : l'ouvrage magistral de M. Daubrée sur les *Eaux souterraines aux époques anciennes*, et l'excellent *Traité de géologie* de M. de Lapparent. (Voir, en outre, la bibliographie, p. XCVI.) Nous avons eu l'occasion de résumer récemment nos propres idées à ce sujet dans un volume sur la *Formation des gites métallifères* (*Encyclopédie des aides-mémoires Léauté*, 1893). On trouvera, dans les *Annales des Mines*, de mai 1893, un article où M. Fuchs avait exposé quelques-unes des siennes : en particulier, le rôle qu'il attribuait au Réseau Pentagonal d'Elie de Beaumont.

le nickel et il faut déjà une connaissance approfondie du livre pour aller y chercher, dans tous les chapitres, les renseignements concernant un métal donné. A notre avis, la classification par métalloïde ou métal, dans l'ordre même de la chimie, est celle qui s'impose et que nous adopterons.

Mais, dans l'étude de chacun de ces corps, on est un peu plus embarrassé. Le groupement géographique, qu'ont adopté un auteur anglais, Davies [1], et un savant italien, D'Achiardi [2], peut avoir pratiquement son utilité ; comme il est facile d'y suppléer par un index géographique [3] et par un court résumé en tête de chaque chapitre, nous avons cru préférable de suivre un ordre rationnel et théorique, fondé, d'une part sur le type du gisement, de l'autre sur son âge présumé.

Sans faire aucune hypothèse sur le mode de formation des gisements, on doit nécessairement distinguer ceux qui sont incorporés dans une roche éruptive ou disposés en filons de ceux qui constituent des couches sédimentaires. Dans la première catégorie, on est conduit, en outre, à établir des groupes suivant la nature de la roche encaissante, l'allure ou le mode de remplissage du filon ; puis, pour les filons, lorsque faire se peut, suivant leur âge. Pour les minerais sédimentaires, l'ordre par âge géologique est le plus naturel.

Ceci est pour la partie théorique de notre travail ; le plan que nous avons essayé de réaliser comprend, en outre, comme nous l'avons dit, une partie économique et pratique. Avant d'étudier un corps, nous commencerons donc par rappeler quels sont ses usages industriels ou ceux de ses composés ; puis, quels sont les principaux centres d'où on le tire, quel est son prix approximatif, quelles sont les lois de son com-

[1] Davies. *Earthy and métalliferous minerals and mining.*

[2] D'Achiardi. *I metalli, loro minerali e miniere*, 1883 (Milano). Cet ouvrage, très précieux, est celui dont le plan se rapproche le plus du nôtre ; mais il est limité aux métaux, et surtout minéralogique.

[3] Voir page LI.

merce. A la suite de chacun des gisements nous ajouterons également, à l'occasion, des données économiques relatives à ce gisement spécial.

Pour le choix à faire entre les gisements, qui sont innombrables, nous avons eu à nous régler sur diverses considérations. Les centres principaux de production ont, tout d'abord, leur place marquée; ainsi que ceux qui, par leur situation en France ou dans les pays voisins, intéressent particulièrement notre industrie; mais, de plus, pour une étude théorique, il convient de décrire ceux sur lesquels, pour une raison ou pour une autre, nous possédons des renseignements géologiques complets. C'est ainsi que nous nous sommes trouvé conduit à donner une place à ceux qui ont eu autrefois une exploitation active, qui ont fait l'objet d'une description spéciale ou surtout qui ont été vus par M. Fuchs ou par nous-même.

Afin de faciliter la lecture de l'ouvrage, nous avons, autant que possible, multiplié les cartes[1] minières, sachant par expérience combien il est parfois difficile de retrouver un nom de mine sur la carte géographique la mieux faite, ainsi que les plans et coupes de mines qui, pour des spécialistes, sont souvent plus intéressants que la meilleure description. Nous avons cru devoir ajouter à chaque gisement une bibliographie détaillée dans laquelle les principaux ouvrages à consulter sont signalés par une astérisque; nous avons, en outre, publié, en tête de l'ouvrage[2], un tableau des principales mesures usitées dans chaque pays, avec les abréviations dont on les désigne et plusieurs tables aidant à retrouver rapidement un renseignement concernant une mine donnée, un pays donné ou un gisement d'une nature donnée. Enfin nous renverrons fréquemment, par des notes, aux échan-

[1] L'étude d'une carte géologique imprimée en noir est parfois difficile; les notations et les signes conventionnels ont été gravés assez nombreux pour permettre aux lecteurs qui le désireraient de colorier eux-mêmes aisément leur exemplaire.

[2] Page CII.

tillons de la collection de géologie appliquée rassemblée à l'Ecole des Mines.

En résumé, l'ordre adopté pour chaque métalloïde ou métal sera le suivant :

1° Nature de la substance étudiée ; ses propriétés physiques et chimiques ; ses usages pratiques ; principaux centres de production ; valeur approximative de la substance.

2° Description des gisements comprenant :

Historique ;

Géologie générale de la région ;

Géologie propre du gisement ;

Méthodes d'exploitation, d'élaboration et de transport[1] ;

Données statistiques et commerciales.

L. DE LAUNAY.

[1] Lorsque ces méthodes présentent un intérêt spécial.

TABLE DES MATIÈRES

DES TOMES I ET II

TOME PREMIER

Pages.

PRÉFACE V

TABLE DES MATIÈRES des tomes I et II XIII

INDEX ALPHABÉTIQUE des localités citées XXV

TABLE GÉOGRAPHIQUE par pays et Bibliographie régionale LI

BIBLIOGRAPHIE des ouvrages généraux sur les gites métallifères. XCVI

ABRÉVIATIONS adoptées pour les ouvrages les plus souvent cités. C

TABLE DE CONVERSION des mesures françaises et étrangères usitées dans les mines CII

ERRATA ET ADDENDA CX

CARBONE

A. **Diamant**. — Nature, propriétés, usages, statistique. 1

Diamants du Cap, 10; du Brésil, 23; de l'Inde, 29; de Bornéo, d'Australie 31

Résumé sur l'origine du diamant. 33

B. **Graphite**. — Propriétés, usages, statistique. 36

I. Graphite dans la granulite (Sibérie). 40

II. Gisements dans le terrain primitif : *A*. Bohême, Moravie, 41; *B*. Etats-Unis (Ticonderoga), 43; *C*. Canada (Buckingham et Lochhaber). 47

III. Gisements dans les terrains anciens (*A*. Cumberland; *B*. Ceylan). 48

C. **Jais** 50

D. **Hydrocarbures.** — Classification. 51

I. **Gaz naturels combustibles.** — Historique, propriétés, usages, prix, exploitation, transport 52

II. **Pétroles.** — Propriétés chimiques et physiques, traitement, production et commerce, gisements. 60

Pétroles d'Amérique, 72 ; de Pensylvanie, 75; du Canada, 90; gisements secondaires du pétrole en Amérique. 91
Pétroles du Caucase, (Bakou, 94 ; Taman 109.). 94
Pétroles de Roumanie, 116; de Galicie, 120; de Croatie. . 128
Pétroles d'Italie : (Province de Parme, Abbruzes, Amaseno.) 129
Pétroles et asphaltes allemands : (Hanovre, Alsace.). . . . 137
Pétroles français 141
Pétroles de l'Inde, 143 ; du Japon. 144
Résumé sur les pétroles 145

III. **Hydrocarbures visqueux**. 152

IV. **Hydrocarbures solides** 152
Ambre. 152
Ozocérite : gisements de Galicie. 154

V. **Hydrocarbures mélangés à une gangue terreuse ou sableuse.** — **Bitumes.** — Composition chimique, usages, gisements. . . . 158
Bitume de Judée, 161 ; Bitume de la Trinidad, 162; autres gites de bitume (Cuba, Virginie, etc.) 169
Gites bitumineux de la Judée et asphaltes de la mer Morte, 171; Bitumes du Kurdistan (Perse), 175; bitumes de Selenitza (Albanie), 176; sables bitumineux de l'Ain. 180

VI. **Hydrocarbures imprégnant des schistes ou des calcaires.** . .

I. **Schistes bitumineux.** — Usages et gisements. 183
Schistes bitumineux siluriens de l'Amérique du Nord. . . 186
Bogheads et Cannelcoals du terrain houiller 187
Schistes bitumineux d'Autun (Saône-et-Loire) 188
Schistes bitumineux de Buxière (Allier). 194
Schistes bitumineux d'Allemagne (Saxe, Mansfeld). 196
Schistes bitumineux du lias. 197
Schistes bitumineux et tripoli de Menat (Puy-de-Dôme). . 197
Mode de formation des schistes bitumineux. 199

II. **Asphaltes.** — Usages et gisements 201
Asphaltes français (Seyssel, Auvergne, Gard). 204
Asphaltes du Val Travers (Suisse) 210
Asphaltes de Sicile (Ragusa) 214
Asphaltes de Russie, du Tyrol, de Dalmatie. 215
Théorie de la formation des hydrocarbures. 216

SILICE ET SILICATES DIVERS

Sables pour verrerie, 222; **cristal de roche, jaspe, agate**, 223; **opale, mica**, 225; **amiante**, 227; **ardoises**, 229; ardoises des Ardennes, 230; ardoises d'Angers, 231; ardoises du Pays de Galles, 236; **topaze**, 237; **émeraude**, 239; **grenats**, 243; gemmes diverses de Russie 472

BORE

Bore. — Usages et statistique 249

Soffioni de Toscane, 251; **borax** des Etats-Unis (Californie, Nevada), 252; **boracites** d'Asie Mineure. 256

SOUFRE

Soufre. — Usages et statistique. 259

1° **Gisements de soufre natif** 263

A. *Dépôts de soufre actuels* (*solfatares*).—Popocatepelt (Mexique); province de Rome; Islande. 263

B. *Gisements de soufre tertiaires.* — Soufre de Sicile, 265; soufre d'Italie, 282; soufre de la province de Lorca (Espagne), 283; soufre de Grèce, de Russie, 285; soufre de France 285

2° **Pyrites de fer.** — Usages et gisements. 286

Pyrites de France (Rhône, Gard, Ardèche) 289

SÉLÉNIUM ET TELLURE

Sélénium et Tellure. — Propriétés, usages. 301

FAMILLE DU CHLORE. — CHLORE, BROME, IODE, FLUOR

PHOSPHORE

Phosphore. — Usages et statistique 309

Phosphate de chaux. — Emploi en agriculture 310

Classification géologique des gisements phosphatés et généralités sur les phosphates. 321

I. *Gisements de phosphate de chaux dans les roches.* — Cap de Gate (Espagne). 326

Apatites de Norvège (Oddegarden). 328

Apatites du Canada 336

II. *Gîtes filoniens et amas de Phosphorite.* — Généralités. 342

Filons de phosphorite de l'Estramadure (Zarza la major, Logrosan, Cacérès). 344

Phosphorites du Quercy 348

III. *Gîtes sédimentaires de phosphate de chaux.* — Généralités. . . 357
A. Silurien : North Wales 359
B. Dévonien : Nassau 361
C. Houiller 367
D. Permo-Trias 367
E. Lias : Auxois, 367; Haute-Saône, 369; Cher et Indre, 371; scories phosphatées des minerais de fer de Lorraine . . . 372
F. Jurassique 367
G. Crétacé : Ardennes, 374; Drôme, 375; Boulonnais, 376; Angleterre, 377; Russie, 380; Pernes et Fauquembergue, 388; Sarthe, 390; Beauval (Somme) et Orville (Pas-de-Calais), 391; Ciply 397
H. Tertiaire : Tunisie 407
I. Quaternaire : Caroline du Sud, 404; Floride 407
Turquoises : Nichapour 411

AZOTE — NITRATES

Azote. — Usages et statistique 415
Nitrates de soude du Pérou et du Chili 419
Origine des nitrates 423

POTASSIUM

Potassium. — Usages et gisements 427
Gisement de Stassfurt. 429

LITHIUM

Lithium. — Usages et gisements 461

SODIUM

Sodium. — Usages 463
Sel gemme ou chlorure de sodium. — Usages et statistique 465
Marais salants 470
Sel des étages géologiques : Salines du Se-tchoan chinois (Cambrien), 473; sel dévonien de Russie, silurien de l'Inde, 475; sel des Etats-Unis, 476; sel permien de Russie, 477; salines du Tyrol et du Salzkammergut, 478; salines du Doubs, 482; salines de la Lorraine 488; salines du Cheshire, 487; salines de l'Algérie, 496; sel d'Espagne, 498; sel de l'Inde (éocène), 499; gisements de sel tertiaires de la région carpathique, 501 : Roumanie, 502; Transylvanie, 505; Wieliczka, 510; sel de la Perse, 516; sel des régions désertiques, 517; sel de la zone aralo-caspienne, 518; d'Arren (Algérie), 521; de l'Ouest américain 522
Sulfate de soude. — Glaubérite. — Gîte de Cien-Pozuelos 524
Carbonate de soude 528

CALCIUM

Calcium. — Usages 530

Carbonate de chaux : 1° Pierres de construction, 530; **2° Calcaires à chaux et à ciment,** 535; **3° Craie et blanc d'Espagne** (Meudon), 536; **4° Pierres lithographiques** (Solenhofen, Diano-Marina), 538; **5° Marbre** (Carrare) 543

Sulfate de chaux. — Plâtre. — Usages et gisements 536

Gypse sédimentaire. — *A.* Période permotriasique : Decize (Nièvre), 559; Franche-Comté et Bourgogne, 560; Lorraine, 561; Pyrénées, Ariège, etc., 562. — *B.* Jurassique, 563. — *C.* Tertiaire : Paris. . . 563

Gypses métamorphiques et intrusifs, 565 : Algérie 567

Albâtre 568

MAGNÉSIUM

Magnésium. — Usages, 569; gisements 572

Carbonates de magnésie de l'Eubée (Mandoudi) 573

Ecume de mer 575

BARIUM

Barium. — Usages et gisements. 577

Barytine de Fleurus, 579; de l'Ariège 581

STRONTIUM

Strontium. — Usages et gisements 583

Strontianite. — Gite d'Ahlen, en Westphalie 584

Célestine. — Gite du Rouet, à Condorcet (Drôme.) 585

ALUMINIUM

1° **Minerais d'aluminium : Bauxite et Cryolite** 589

Usages et extraction de l'aluminium 589

Bauxite des Baux, 595; Cryolite d'Evigtok (Groenland). . . . 599

2° **Oxydes d'aluminium : Corindon, Rubis, Saphir, Emeri.** 601

Usages et reproduction artificielle, 601; gisements, 602; gites d'émeri 604

3° **Alun.** — Usages, gisements, 606; alunite de la Tolfa. 607

4° **Argiles et kaolins,** 612.—A. Argiles pour tuileries, etc., 614.—*B.* Kaolin, 615 : kaolin des Colettes (Allier), 618; de Saint-Yrieix (Coussac, Marcognac), 620; de la Nièvre, 625; des Eyzies (Dordogne), 625; de Thuringe 628

Théorie de la transformation kaolinique 628

FER

Fer. — Minerais, 632; données statistiques, 635; généralités géologiques. 645

A. **Rôle du fer dans la constitution des roches cristallines.** 652

B. **Gites de fer en inclusions dans les roches,** 655 : Gite de Taberg (Suède), 656; gite de Cogne (val d'Aoste), 657; gites de fer de la côte d'Arendal 657

C. **Gites de fer de contact,** 659 : gites du Banat, de Hongrie et de Serbie, 660; gites de l'Oural (Visokaya-Gora, près Nijni-Taguil, Blagodat, etc.), 664; gite de Traverselle (Piémont) 671

D. **Gites de fer filoniens,** 673 : gites de Zorge (Harz), 674; gite d'Iron-Mountain (Missouri), 675; gites du massif du Canigou (Pyrénées-Orientales) et de Rancié (Ariège), 676; gites des provinces de Murcie et d'Almeria, 690; gite d'Allevard (Isère) 693

E. **Gisements de fer stratiformes, sédimentaires et d'épanchement.** 695

Amas laurentiens des Etats de New-York, New-Jersey et Pensylvanie, 700; fer de Suède et de Norvège, 702 (Norberg, 708; Persberg, 713; Dannemora, 714); fer du lac Supérieur (Etats-Unis), 719; fer de Mokta-el-Hadid (Algérie), 721; fer de San-Thiago (Portugal) 728

Fer cambrien 730

Fer silurien, 730 : fer de Segré (Maine-et-Loire), 731; fer de Diélette (Manche), 731; fer de Saint-Rémy (Calvados), 737; fer de Krivoï-Rog (Russie), 738; fer silurien de Nucic (Bohême), 743; fer de Saint-Léon (Sardaigne), 744; fer de Villa-Canas (Andalousie), 745; fer de la Grande-Vallée (Alleghany). 745

Fer dévonien, 746; Erzberg de Styrie et de Carinthie, 747; fer de Elbingerode (Harz) 749

Fer du carbonifère et du houiller, 750; fer du Cumberland (Angleterre), 752; sphérosidérite houillère de la Ruhr, de Silésie, de France 763

Fer du permien 767

Fer triasique de Silésie, 768; fer triasique du Gard et de l'Ardèche. 771

Fer hettangien : Thostes et Beauregard (Côte-d'Or); Mazenay et Changes (Saône-et-Loire). 774

Fer sinémurien : Ilarzbourg 777

Fer toarcien : Meurthe-et-Moselle, 777; fer du Cleveland. . . . 784

Fer bajocien : Ougney, Isenay, Privas. 785

Fer callovien : la Voulte 786

Fer crétacé : Wassy, 788; fer de Bilbao (Biscaye) 790

Fer en grains, oligocène, du Berry, 787; fer en grains de Meurthe-et-Moselle 805

Fer tertiaire : fer de l'île d'Elbe, 805; fer de Beni-Saf (la Tafna), 815; fer de Tunisie (Tabarka) 818

Fer des lacs et des marais 821

TOME II

MANGANÈSE

Manganèse. — Usages, 1; statistique, 3; prix, 6; minerais et gisements, classés par âge géologique 6

Gites de Saint-Marcel en Piémont, 9; de Barmouth et Harlech (Merionetshire), 10; des Hautes-Pyrénées, 11; du Devonshire, du Cornwall et du North-Wales, 12; de Romanèche (Saône-et-Loire), 13; du Caucase (Kviril, Tchiatoura), 17; de Ciudad-Réal (Espagne), 22; de San-Pietro (Sardaigne), 25; du Nassau, 26; des Etats-Unis . . 30

CHROME

Chrome. — Usages et statistique, 33; généralités sur les gisements, 36; gites de Turquie d'Asie et de Grèce, 36 ; des Etats-Unis, 37; de Nouvelle-Calédonie, 38; du Banat, 38; de l'Oural. 39

NICKEL

Nickel. — Usages, 41; minerais, 43; commerce et statistique, 45; prix, 47; généralités sur les gisements. 48

I. **Nickel de la Nouvelle-Calédonie** 49

II. **Pyrrhotines nickélifères** du Canada, 60, de Scandinavie (Ringérike), 62; d'Italie (Varallo, Scopello), 65; d'Allemagne, des Etats-Unis. 68

III. **Arséniures de nickel et minerais de nickel cobaltifères** d'Allemagne, 70; de Dobsina, Schladming, etc. 72

COBALT

Cobalt. — Usages, 77; minerais, 78; centre de production, 79; généralités sur les gisements, 81; **filons cobaltifères à gangue de quartz ou de calcite** (Saxe, Piémont, Espagne, Mansfeld, etc.), 82; gites cobaltifères de Skutterud (Norvège), 86; de Tunnaberg (Suède), 87; de Voel Hiraddog (Angleterre), 88; de Russie, des Indes, etc. 90

VANADIUM

Vanadium. — Usages et minerais 93

TITANE

Titane. — Usages et minerais 97

ÉTAIN

Étain. — Usages, 101; statistique, 103; généralités sur les gisements . . 107

Filons d'étain du Cornwall, 112; de Saxe et de Bohême, 127; de la Villeder (Morbihan), 136; du Plateau Central (Vaulry, Cieux,

Montebras), 142; de Galice et de Zamora, 145; des Etats-Unis, 147; étain filonien de Malacca, 148; étain tertiaire (Toscane, île d'Elbe, Bolivie, etc.) 149

Alluvions stannifères des détroits (Bangka, Billiton, Pérak, etc.), 141; d'Australie, 159; de France. 157

BISMUTH

Bismuth. — Usages, 156; minerais, 160; généralités sur les gisements. . 160

Gîtes de bismuth d'Europe : France (Meymac), 161; Allemagne, 162: Autriche-Hongrie, 153; Suède et Norvège, 163; Iles Britanniques. 164

Gîtes de bismuth d'Amérique : Chili, Pérou, Bolivie, Mexique, Etats-Unis 164

Gîtes de bismuth d'Australie. 166

TUNGSTÈNE

Tungstène. — Usages, minerais, gisements. 169

MOLYBDÈNE

Molybdène. — Usages, minerais, gisements. 175

URANIUM

Uranium. — Usages, gisements, extraction. 179

ANTIMOINE

Antimoine. — Usages, 183; minerais, 185; statistique, 186; commerce, 189; généralités sur les gisements 190

Filons d'antimoine de Magurka (Hongrie), 192; du Plateau Central, 193; de Portugal, 199; d'Allemagne, 200; d'Espagne, d'Asie Mineure, d'Australie, de Bornéo 201

Antimoine tertiaire (Algérie, Hongrie, Toscane) 202

Gîtes d'antimoine d'allure sédimentaire, 203 : Arnsberg (Westphalie), 204; Cévennes, 204; province de Constantine 205

ARSENIC

Arsenic. — Usages, 207; statistique, 209; gisements de mispickel . . . 209

CUIVRE

Cuivre. — Usages, 211; statistique, 214; commerce, 221; minerais, 230; généralités sur les gîtes de cuivre 230

1° **Gîtes de cuivre dans des roches éruptives,** 234 : gîtes de Monte Catini, Siestro-Levante (Toscane), Ponte alle Lecchia (Corse), 235; Epidaure (Grèce), 242; la Prugne (Allier) 224

2° **Gîtes de cuivre au contact des roches éruptives**, 245 : cuivre de l'Oural, 245; du Chili et de la Bolivie, 253; du Nassau, 256; de New-Jersey, 257; du Banat et de la Serbie. 258

3° **Gîtes de cuivre filoniens** 259

Aα. **Filons de chalcopyrite à gangue quartzeuse** de l'Arizona, 262 : du Montana (Anaconda), 263; de Burra-Burra (Australie), 267 ; du Namaqualand, 268; de Kef-oum-Theboul (Algérie), 269; du Telemark, 271; du Kupferberg (Sibérie), 271; des Vals Trompia, Sabbia et Sassina (Lombardie) 273

Aβ. **Filons de chalcopyrite à gangue de sidérose** de Kitzbüchel (Tyrol), 275; Kotterbach (Hongrie), 277, etc.

B. **Amas de pyrite de fer cuivreuse**; généralités, 278; amas de Fahlun (Suède), 282; de Röraas (Norvège), 287; de Foldal (Norvège), 291; de Vigsnæs (Norvège), 292; de Rio Tinto, Tharsis (Espagne) et San Domingos (Portugal), 296; d'Agordo (Vénétie). 302

C. **Filons de cuivre gris**, 304; de la Sierra Nevada, 305; d'Algérie (Mouzaïa etc.), 306; de Kresevo et Prozor (Bosnie), 307; de Kleinkogl (Tyrol) 308

D. **Gisements de cuivre natif** du Lac Supérieur. 309

4° **Gîtes de cuivre sédimentaires**, 322; gîte du Rammelsberg (Bas Harz, 323; *grès cuprifères* de Russie et Bohême, 327; de Corocoro (Bolivie), 328; *schistes bitumineux cuprifères* du Mansfeld, 329; terrains cuprifères de la Hesse et de la Westphalie, 343; grès plombifères et cuprifères de Saint Avold (Lorraine), 345; cuivre du Caucase (Kiadebek, Akhtala), 345; cuivre du Boleo (Basse-Californie). 349

ZINC

Zinc. — Usages, 355; statistique, 357; minerais, 366; généralités sur les gisements 367

A. **Amas calaminaires et filons de blende**. — *Gîtes du Laurium* (Attique), 375 ; *gîtes de zinc et plomb en Sardaigne*, 387; (Montevecchio, 393; San Giovanni, 394; San Benedetto, 396; Malacalzetta, 397; Nebida, 398; Monteponi, 400; Malfidano, 405; Baueddu, Planu Dentis, 411); gîtes de la Prusse Rhénane (Bensberg), 412; gîtes dans le carbonifère (Denbighshire et Flintshire), 417; *calamines de Belgique* (Vieille Montagne, Welkenrædt, etc.), 417; *gîtes de zinc permotriasiques :* Carthagène, 423; Région Alpestre; 424: Wiesloch, 427; Ardèche et Gard, 429; *gîtes de zinc post crétacés :* Santander (Asturies), 437; Sakamody (Algérie). 438

B. **Gîtes de zinc subordonnés aux terrains sédimentaires**, 440 : zinc de Ammeberg (Suède), 449; blende de Sterzing (Tyrol), 449; *zinc et plomb de la Haute-Silésie* 449

CADMIUM, ZIRCONIUM et autres métaux rares (INDIUM, GALLIUM, NIOBIUM, TANTALE, etc.). 461

PLOMB

Plomb. — Usages, 467; statistique, 468; prix des minerais, 479; estimation de la valeur d'un filon, 480; généralités géologiques sur les gisements, 483; minerais, 488; ordre adopté dans la description. 489

1° Filons et champs de fractures. — Généralités 491

Filons de plomb français : Pontpéan (Ille-et-Vilaine), 498; Huelgoat et Poullaouen (Finistère), 505; Pontgibaud (Puy-de-Dôme), 506; Vialas (Lozère), 509; gîtes secondaires du Plateau Central, 514; filons de la région pyrénéenne, 518; filons des Alpes, de Savoie et de Corse. 520

Filons de plomb allemands, 521 : mines de Ems, Holzappel, Zell-sur-Moselle (Prusse rhénane), 523; mine de Bleiberg-es-Montzen (Belgique), 524; filons de plomb d'Autriche. 525

Filons de plomb espagnols, 526 : mines de Linarès-la-Carolina, 526; mines des provinces de Ciudad Réal et de Badajoz (l'Horcajo, la Romana, Castuera, etc.), 547; gîtes de plomb, zinc et fer de la région de Carthagène, 520; filons de Mazarron et Aguilas, 557.

Filons de plomb d'Italie, 559 : Bottino (Toscane). 560

Galènes argentifères de Sibérie, 561 ; filons des État-Unis, 563 : Bingham (Utah), 564; Colorado, 567.

Champs de filons d'Allemagne et d'Autriche. 568. *Filons de Przibram et de Mies* (Bohême), 569. *Champs de filons du Harz*, 577. *Champs de filons de la Saxe et de la Bohême septentrionale*, 584 : Freiberg, 587; Marienberg, 592; Annaberg, 601; Schneeberg, 603; Joachimsthal 605

2° Gisements de plomb dans les calcaires, avec phénomènes de substitution 610

Gîte de plomb argentifère de Sala (Suède), 611; gîtes du Derbyshire et du Cumberland, 614; gîte de plomb et mercure de Littai (Carniole), 618; gîtes de Raibl, Tarnowitz, Bleiberg, 621; gîtes du Mississipi, du Wisconsin et de l'Utah, 622; Mines de plomb, argent et or d'Eureka (Nevada), 626; gîtes de plomb argentifère de Leadville (Colorado), 637; gîtes de plomb de Tunisie. 651

3° Gisements de plomb sédimentaires. 652

Grès plombifères et cuprifères de Commern, Mechernich et Saint-Avold (Prusse rhénane). 653

MERCURE

Mercure. — Usages, 662; prix, 663; statistique, 664; généralités sur les gisements 668

Gîtes d'Almaden (Espagne), 672; de Mieres (Asturies), 681; de France et d'Algérie, 682; d'Allemagne (Bavière Rhénane), 684;

d'Idria (Carniole), 686; de Saint-Anna ou Potocnig et de Littai (Carniole), 696; d'Italie (Vénétie, Toscane), 697; de Hongrie, Bosnie, Serbie, Russie, etc., 704; d'Asie, 708; de Californie, 711 : (Sulphur Bank, 715; Knoxville, 717; Oathill, 718; New Almaden, 719; New-Idria, 721); du Mexique, 724; de l'Amérique du Sud, 725; d'Australie. 727

ARGENT

Argent. — Usages, 728; *Rôle comme monnaie et question du bimétallisme*, 731; statistique de la production de l'argent, 740; minerais d'argent . 752

1° **Filons d'argent à gangue de calcite**, 753 : Gîtes de Kongsberg (Norvège), 755; du Sarrabus (Sardaigne), 769; de Guadalcanal (Espagne), 777; des Chalanches et du Grand Clos (Isère), de Sainte-Marie-aux-Mines (Alsace-Lorraine), etc. 779

2° **Filons d'argent à gangue quartzeuse**, 783 : Gîtes de Schemnitz (Hongrie), 783; du Comstock (Nevada), 793; d'Austin (Nevada), 807; de la région de Butte City (Montana), 808; du Mexique, 811; du Pérou, 829; de la République Argentine, 832; du Japon, 832; de Broken-Hill (Australie). 833

3° **Galènes argentifères; Blendes et pyrites de cuivre argentifères.** 837

4° **Cuivres gris argentifères**, etc. 840 : Gîtes du Chili (Chañarcillo, Caracolès), 841; de Bolivie (Potosi, Huanchaca), 849; du Pérou (Recuay). 854

OR

Or. — Usages et statistique, 857; minerais, 883; âge de l'or, 887; généralités sur les gisements, 888; limites d'exploitabilité des filons. 893

1° **Gisements d'or filoniens** (*quartz et pyrite aurifère*) 896

Filons du Callao (Venezuela), 896; de Bérézowsk (Oural), 902; du Piémont (Gondo, Pestarena, etc.), 904; du Pays de Galles, 907; de Bönmelö et Eiswold (Norvège), 909; de Tacuarembo (Uruguay), 910; de Panama, 912; d'Australie, 912; de Nouvelle-Zélande, 918; de Californie, 919; du Mexique, 925; du Chili, 926; du Pérou, 929; de Transylvanie (Nagyag, Vöröspatak, Offenbanya, Zalathna), 930; du Brésil (Minas Geraes), 938; de Santa-Cruz (Honduras). 942

Filons tellurés, 942 : tellurures du comté de Boulder (Colorado), 945; de Transylvanie. 947

2° **Gisements sédimentaires**, 949; amas huroniens des Alleghany, 753; des Blackhills (Dakota), 964; gîtes du Transvaal (Witwatersrand.) 955

Alluvions aurifères, 960; alluvions de Californie, 961; d'Australie, 969; de France, 972; de la vallée du Rhin, 973; du Nord de l'Italie, 974; de la Galice (Espagne), 975; de Grenade, 977;

de Russie et de Sibérie, 978; de l'Inde, 981; de Sumatra et Bornéo, 983; d'Afrique (Côte d'Or, Angola, Tunisie, etc.), 984; de la Guyane française. 986

PLATINE ET MÉTAUX ASSOCIÉS

Platine. — Usages et statistique 993; gîtes de l'Oural, 996; de Colombie, 1000; de Bornéo, 1001; de Nouvelle-Zélande, 1001; **Palladium**, 1002; **Iridium**, 1003; **Rhodium**, 1003; **Ruthénium**, 1004; **Osmium**. 1004

INDEX ALPHABÉTIQUE[1]

DES LOCALITÉS CITÉES

A

Abbadia, II, 699.
Abella, II, 201.
Abergele, II, 13.
Abertham, II, 128 à 136.
Aberytswich, II, 907.
Abots (les), I, 192.
Abrudbanya, II, 930, 933, 948.
Abruzzes, I, 134.
Aculeo, II, 845.
Adelaïde, II, 834.
Adelong, II, 167, 971.
Adieu wat, II, 989.
Adirondack (monts), I, 700.
Adranaz, II, 36 et 37.
Adun Tschelon (monts), I, 238, 240; — II, 147.
Agarribito, II, 845.
Agordo, II, **302** et **303**, 697.
Agua Amarga, II, 845.
Aguas Blancas, I, 422; — II, 845.
Aguas Tenidas, II, 296 et 301.
Aguilas, I, 690; — II, 557.
Ahlen, I, 137, 584 et 585.
Ailhon, I, 772.
Aïn-Mokra, I, 721.
Aïn-Nouissy, I 567.
Aïn-Ouinkel, I, 546.
Ain, I, 182, 204, 784.
Ainoura, II, 710.
Aisne, I, 534, 789.
Aix-la-Chapelle, II, 417, 419, 522.
Akhtala, II, 345 à 348.
Aktolik, II, 980.
Akum, II, 984.
Alabama, I, 46.
Alabaschka, I, 238, 248.
Alagna, II, 907.
Alais, II, 429, 432 à 434.
Alamillos (los), II, 533, 539.
Alameda, II, 37 et 38.
Alassac, I, 230.
Alb, II, 522.
Albaicin, II, 977.
Albanie, I, 176; — II, 706.
Albano, II, 976.
Albany County, II, 98.
Albert County (N.-B.), I, 170.
Albrechsbury, I, 615.
Albunal, II, 681.
Alcanadre, I, 527.
Alemanes (los), II, 539.
Alemtéjo, I, 546, 728 et 729; — II, 199 et 200, 277, 296, 301.
Algadones, II, 845.
Algarrobito, II, 845.
Alger (province d'), I, 242, 497; — II, 306 et 307.
Alghero, II, 390.
Algodones de Ovalle, II, 845.
Algodon, II, 256.
Alhambra, II, 977.
Alhamilla (sierra), II, 84.
Alice mine, II, 266, 808.
Allahan pandjang, II, 710.
Alla-Gheuz, I, 347.
Allah-Verdi, II, 345, 347 et 348.
Allauch, I, 597.
Alleghany (monts), I, 745, 746; — II, 953 et 954.
Alleghany county, I, 75.
Allemont, II, 520, 682.
Allevard, I, **693** et **694**.
Allie Brown, II, 809.
Allier, I, 187, 195, 367, 546, 560, 618 à 620; — II, 16, 144, 193 à 195, 242 à 244.
Allumiere, I, 608.
Almaden, II, 672 à 681.
Almagrera (*sierra*), I, 690; — II, 779.
Almagro, II, 549.
Almegijar, II, 681.
Almeria, I, 690, 693; — II, 681.
Alp, II, 277.
Alpes (les), I, 479.
Alpes, II, 972.
Alpes maritimes, II, 344.
Alsace, I, 138; — II, 71, 82, 521, 782.
Altaï, I, 240; — II, 69, 562, 600.
Altar, II, 845.
Alta-Vela, I, 410.
Altay, II, 523.
Altena, II, 415.
Altenau, II, 577.
Altenberg, I, 238; — II, 128

[1] Les noms imprimés en égyptienne (**Abruzzes**) sont ceux des régions mentionnées; les noms imprimés en italique (*Abergele*), ceux des gîtes décrits avec quelques détails.
Pour les pays principaux, se reporter à la table géographique, p. LI.

et 129, 162, 172, 177, 210, 598.
Altenberg (belge), II, 417 et 420, 524 et 525.
Altenbruck, II, 415.
Altenkirchen, II, 71, 522.
Altenrath, II, 71.
Altglück, II, 413 à 415.
Alumbre, II, 556.
Amargosa, I, 254.
Amaseno, I, 135.
Amour (fl.), II, 978, 981.
Ambrault, I, 533.
American, II, 568.
American (riv.), II, 920, 969.
American company, II, 901.
Ammeberg, II, 440 à 448.
Ampsin, II, 524 et 525.
Anaconda, II, 263 à 267, 808.
Ancachs, II, 725.
Anchaes, II, 855.
Andacollo, II, 928.
Andalousie, I, 326, 587, 745; — II, 59, 74, 84.
Andalusia, II, 717.
Andlau (val d'), I, 48.
Andosilla, I, 527.
Andreasberg, II, 200.
Angeles (los), II, 533.
Anglada, I, 682.
Angustias (los), II, 539.
Anglefort, I, 182.
Angleur, I, 613.
Angola, II, 984 et 985.
Anhalt, I, 306, 429 à 460.
Ani-Belbouch, II, 202.
Annaberg, II, 82, 162, 177, 586, 598, 600 à 602.
Annivier (val d'), 74 et 75, 83.
Antilope, II, 925.
Antioquia, II, 724.
Antiparos, I, 546.
Antofagasta, II, 253, 255, 845, 848, 849.
Aoban, II, 833.
Aoste (val d'), I, 657; — II, 9 et 10.
Apalaches (monts), I, 46.
Apcheron (presqu'île), I, 94, 96.
Apfel Columbus, II, 413 et 414.
Apollonia, II, 985.
Aporama, II, 929.
Aprouague (riv.) (Guyane), II, 986.
Aptremont, I, 533.
Apt, I, 285.
Aragon, I, 50; — II, 74, 210.
Aragona, I, 267.
Aranjuez, I, 525.
Aranyidka, II, 193.
Aranyos (riv.), II, 947.
Ararat, II, 347.
Arauco, II, 928.
Arbana, II, 345.
Arbatach, II, 439.
Arbois, I, 560.
Arbus, II, 390.
Ardèche, I, 299, 373, 375, 585, 730, 771 à 774, 786 et 787; — II, 199, 429.
Ardèche (riv.), II, 972.
Ardennes, I, 231, 374, 533, 534, 788, 789.
Arendal (côte d'), I, 657 à 659; — II, 176.
Arequipa, II, 829.
Argentella, II, 521.
Argentière (l'), II, 390, 560.
Arguis (les), II, 519.
Argyleshire, II, 75.
Ariadne, II, 414 et 415.
Ariège, I, 290, 562, 581, 595, 613, 685 à 689; II, 12, 518 et 519.
Ariège (riv.), II, 972.
Arizona, II, 262 et 263.
Arkhangel, I, 475.
Arkanzas, II, 99.
Arksut (baie d'), I, 600.
Arménie, I, 607.
Armidal, II, 201.
Arnave, I, 562.
Arnon, I, 804.
Arnsberg, II, 204, 415 et 416.
Arpad, I, 663.
Arqueros, II, 254, 726, 844.
Arren, I, 621.
Arroyanes, II, 527, 537.
Artane, II, 345.
Artanynokski, I, 112.
Art-sur-Meurthe, I, 486.
Arvali, II, 69.
Arve, II, 972.
Ashanti, II, 984.
Asiento, II, 851.
Asinaio (monts), II, 520 et 521.
Askam, I, 761.
Aspe, I, 546.
Asprières, II, 518.
Assam, I, 547.
Astorga, II, 976.
Astrakhan (lacs d'), I, 519 et 520.
Asturies, I, 50; — II, 83, 210, 437, 438, 462, 463, 681, 682.
Atacama, II, 69, 256, 726, 841, 845, 848.
Atchinsk, II, 978.
Atlantic, II, 809.
Attique, II, 375 à 387.
Aube, I, 373.
Aubois, I, 804.
Auburn, II, 924.
Aucklana, II, 919.
Aude, I, 50, 546.
Auerbach, I, 238; II, 177.
Augnat, I, 595.
Aulnais (les), I, 733.
Aulnois (les), I, 486.
Aulus, II, 518 et 519.
Auron, I, 804.
Aurouze, II, 515 et 516.
Aurouzo, II, 560.
Aussee, I, 480.
Aust Ferry, I, 587.
Austin, II, 807 et 808.
Auteuil, I, 400.
Autrevida, II, 779.
Autriche (basse), I, 45, 155.
Autun, I, 188.
Auxon, I, 370.
Auzelle, II, 507.
Avala (mont), II, 706.
Avant-Garde (l'), I, 772.
Avanza (mont), II, 698 et 699.
Aveyron, I, 350, 766, 784, 785; — II, 518.
Avignac, I, 562.
Avinières (les), II, 433 à 436.
Avrorinski, II, 999.
Axim, II, 985.
Ayaviri, II, 725 et 726.
Ayer, II, 74 et 75.
Aytua, I, 682.
Azarosa, II, 296.
Azeron, II, 439.
Azogue, II, 724.
Azow (mer d'), I, 520.
Azy-le-Vif, I, 625.

B

Babai, II, 90.
Babor, II, 306 et 307.
Bacau, I, 118 et 119.
Baccu-Arrodas, II, 770, 775.

Bach, II, 201.
Bachmut, II, 707.
Badajoz, II, 549 et 550.
Bade (grand-duché de), II, 68, 71, 82, 162, 200, 427 et 428, 521 et 522.
Baden, II, 522.
Bagagem, I, 24.
Bagder Hill, II, 969.
Bagor, II, 90.
Bagos (los), II, 832.
Bahadur-Khel, I, 520.
Bahia, I, 24, 25, 27.
Baïcoi, I, 503.
Baïgorry, II, 277.
Baïkal (lac), II, 562.
Bajurabaya, I, 169.
Bakou, I, 94 à 109.
Bala, I, 360.
Balagna, II, 683.
Balakhani, I, 96 à 98, 105 et 106.
Balbouk, II, 978.
Baldwinstein, II, 27.
Bâle, II, 973.
Ballabio, II, 273.
Ballandale Head Station, II, 156 et 157.
Ballatche, I, 682.
Ballestang, I, 681.
Ballinvalley, II, 908.
Ballymurtagh, II, 908.
Balme, II, 65.
Bambara, II, 984.
Bamble, I, 329; — II, 63.
Bambouk, II, 984.
Banat, I, 660 à 664; — II, 38 et 39, 163, 177, 258 et 259, 525.
Bandjermassin, I, 32.
Bandurias, II, 845.
Banes, I, 169.
Bangka, II, 152.
Bandurias, II, 841 à 845.
Banne, I, 772.
Barantcha, II, 998.
Barbacoas, II, 993, 1000.
Barbarissa, I, 41.
Barbina (val), II, 66.
Barcelone (E.), II, 201.
Barcelone (U.-S.), II, 721.
Bardonèche, II, 9 et 10.
Barèges, I, 41.
Barissau (monts), II, 983.
Barmouth, II, 10.
Barnaul, II, 980.
Baron, I, 422.
Baronia, II, 74.
Barossa, II, 917.
Barotch, I, 224.
Barousse, I, 546.
Barrancanes, II, 298.
Barranco del Francès, II, 551.
Barre (la), I, 625.
Barrow-in-Furness, I, 752.
Baskanutchak, I, 520.
Bas-Boulonnais, I, 788.
Bas-Perak, II, 154 et 155.
Basse-Californie, II, 349 à 352.
Basses-Alpes, I, 546, 563.
Bastia, II, 520 et 521.
Bastide-Bozain, I, 367.
Bastide-les-Cascades, II, 40.
Batère, I, 676, 681, 685.
Batesville, II, 31.
Bath (col.), II, 964.
Bathurst, II, 836.
Bathvale, I, 187.
Batopilas, II, 821.
Batougol (monts), I, 41.
Battigio, II, 905 et 906.
Baueddu, II, 409.
Baulme-la-Roche, I, 561.
Baux-de-Provence, I, 595 et 596.
Bavière, I, 45, 539 à 542; — II, 449, 464.
Bear river, II, 920, 967.
Bear valley, II, 922.
Beaver and Smith's Ferry, I, 75.
Beaune-la-Rolande, I, 534.
Beauregard, I, 774.
Beauval, I, 391.
Bedar (sierra de), I. 690.
Bedeillac, I, 562.
Bedfordshire, I, 379.
Beechenorth, II, 156 et 157, 174.
Beechworth, II, 971.
Beers (de), I, 11.
Béja, I, 403.
Belcher (Comstock), II, 266, 797, 805. 808.
Belcher (Montana), II, 266
Belep (Ile), II, 56 et 57.
Belfast, I, 595.
Belgrade, II, 706.
Bellary, I, 29, 602.
Bellegarde, I, 212.
Bellnhausen, II, 72.
Belluno, II, 560, 697.
Belmont, II, 721.
Belvedère, II, 55.
Benancourt, II, 55.
Bendigo County, II, 727.
Bengale, I, 29; — II, 982.
Beni-Saf, I, 722, 815.
Benita, II, 775.
Bensberg, II, 412, 414 et 415, 463, 522.
Bentaillon, II, 518 et 519.
Bentheim, I, 170.
Berchtesgaden, I, 478.
Berdiansk, I, 742.
Beresnine, I, 478.
Berezowsk, I, 614; — II, 708 et 709, 902 à 904, 978 et 979.
Berkllwyd, II, 908.
Berg, II, 655.
Bergame, II, 426.
Bergish Gladbach, II, 416.
Bernado, I, 682.
Berne, I, 51.
Berneck, II, 909.
Berry, I, 797 à 804.
Berselle (la), I, 671.
Berthier-Maisonneuve, I, 227.
Bervick, II, 156 et 157, 174.
Beriwyn, I, 360.
Besançon, I, 533.
Beschert-Glück, II, 587, 594.
Besighetto, II, 65.
Bessèges, I, 772; II, 432.
Bessine, I, 240.
Betchat, I, 562.
Betts Cove, I, CXI; II, 217, et 222.
Beurre, I, 561.
Beuthen, I, 769; II, 451.
Bex, I, 587.
Bez (le) (rio), II, 429 et 430.
Bhangarh, II, 70.
Bianca, I, 609.
Bibi-Eybat, I, 96, 97, 106.
Bicer, II, 996.
Bieber, II, 85, 343.
Bienvenu, II, 55.
Biersbach, II, 521 et 522.
Bigoak-Flat, II, 922.
Bigrigg, I, 752.
Bilbao, I, 289, 790 à 796.
Billiton, II, 152.
Bingham, II, 563 à 567.
Bir-beni-Salah, II, 683 et 684.
Bisberg, I, 703, 708.
Biscaya, I, 289, 790 à 796.
Bisersk, I, 248; — II, 996.
Bissade (la), II, 198.
Bisztra, II, 193.
Bithynie (Olympe de), II, 36 et 37.

Blackburn, I, 339.
Blackhills, II, 147, 954.
Blagodat, I, 667 à 670.
Blamont, I, 230.
Blanche (mer), I, 153.
Blangy, I, 789.
Blankenrode, II, 437.
Blannaves, I, 772
Bleialf, II, 522.
Bleiberg Rhénan, II, 653, 655, 657.
Bleiberg (Carinthie), II, 177, 525, 617.
Bleiberg-ès-Montzen, II, 418, 422, 524 et 525.
Bleistock, I, 663.
Bleka, II, 163 et 164.
Blidah, I, 242.
Bluebird, II, 265 et 266, 808 et 809.
Blue Hall Bay, II, 177.
Blue Lead River, II, 962.
Blue Point, II, 969.
Boa Vista, I, 239.
Bochum, I, 763 et 764.
Bockswiese, II, 580.
Bodenmais, II, 449, 464.
Boger, II, 953.
Boghead, I, 187.
Bogoslowsk, II, 245 à 247, 708 et 709, 978 et 979.
Bogota, I, 241.
Bohême, I, 43, 45, 196, 238, 241, 246, 743; — II, 85, 86, 96, 127 à 136, 163, 172, 177, 180, 200, 209, 328, 569 à 577, 584 à 610.
Bois (le), I, 733.
Bois-Vicomte, I, 621, 623.
Bolène, I, 613.
Boleo, **349 à 352**.
Boleslaw, II, 458 et 459.
Bomba, I, 794.
Bombay, I, 224.
Bömmelö, I, 705.
Bonanquet, I, 186.
Bonde, II, 87.
Bône, I, 546, 721.
Bonita, II, 775.
Bonnac, II, 972.
Boorock, II, 836.
Borax (lac de), I, 253.
Bordas, II, 845.
Bordezac, I, 772.
Bornéo, I, 32; — II, 152, 201, 710, 983 et 984, 995, 1001.
Bornholm, II, 340.
Borrowdale, I, 48.
Borsabanya, II, 930.
Börschweiler, I, 765.
Boru, I, 627.
Boryslaw, I, 124, 155.
Bosconegro, II, 975.
Bosnie, II, 307 et 308, 705 et 706.
Bostana, I, 517.
Boston and Montana C°, II, 810.
Bote (El), II, 823.
Bottino, II, 560 et 561.
Botza, II, 193.
Bou-Amran, II, 306 et 307.
Bouches-du-Rhône, I, 595 et 596.
Boudes, I, 595.
Boudonville, I, 782.
Bougie, I, 546.
Bougival, I, 537.
Bou-Hamra, I, 722.
Boulangère, II, 55.
Boulari, II, 54.
Boulder, II, 568.
Boulder-County, II, 945 et 946.
Boulder-Creeck, II, 945.
Boulogne, I, 536, 545.
Boulzicourt, I, 533.
Bourberouge, I, 738.
Bourganeuf, II, 173.
Bourg d'Oisans, II, 98.
Bourg Saint-Maurice, I, 562.
Bourrière (la), I, 208.
Bouvillard, II, 520.
Bouxières-aux Dames, I, 782.
Boz-Belin, II, 36 et 37.
Bozouls, I, 350.
Braastadt, I, 658.
Bradford, I, 75.
Briansk-Orel, I, 383.
Braie (lac de la), I, 165.
Brand, II, 587, 594, 596 et 597.
Brandholz, II, 909.
Brandy, II, 52, 54.
Braunsdorff, 587, 592, 594, 596.
Brazza (île de), I, 215.
Breiniger Berg, II, 418.
Brescia, II, 559.
Bresnay, II, 194.
Breteuil, I, 613.
Brevig, I, 705; II, 464.
Breziers, I, 566.
Brezzuro, II, 525.
Briansk-Orel, I, 383.
Bries, II, 193.
Briey, I, 778, 781 et 782.
Brillador, II, 253.
Brilon, I, 750; — II, 416.
Brisgau, II, 463.
Brissogne, II, 907.
Bristol, I, 587.
Brocken, II, 577 et 578.
Brodbo, II, 181.
Broken-Hill, II, 833, 835 et 836.
Brousse (la), II, 507 et 509.
Brown, II, 567.
Bruchsal, II, 428.
Brumen, I, 603.
Brunswick, I, 138.
Brusimpiano, II, 559.
Bruyères-Tangery (les), I, 625.
Bruzolo, II, 65, 83.
Buarcos, I, 587.
Büchenberg, I, 749 et 750.
Buchholtz, II, 128.
Buckeye, II, 924.
Buckingham, I, 47.
Buckingham County, I, 47, 339.
Budapest, I, 505.
Bucsum, II, 932.
Buech, II, 515.
Bugerru, II, 405.
Buitron, II, 296.
Buena-Esperanza, II, 845.
Bugres, II, 941.
Bullirn, I, 75.
Bultfontein, I, 11.
Bundenthal, II, 521.
Burgos, I, 499, 527.
Burmah, I, 143; — II, 90.
Burnfield, II, 177.
Burnt Hickory, II, 951.
Burra-Burra, II, 267 et 268.
Busbach, II, 417.
Buschenberg, I, 546.
Busenbach, II, 71, 522.
Butler, I, 75.
Butler and Armstrong, I, 75.
Butte County (Californie), II, 264, 265, 920, 925.
Butte-City, II, 808 à 811.
Buxière, I, 195.
Buzeu, I, 118, 503.
Bysk, II, 980.

C

Cabanes (les), I, 290.
Cabanes County, II, 953.

Cabezo de las Herrerias, II, 779.
Cabezo de Sancti-Espiritus, II, 551.
Cabezo Rajado, II, 555.
Cabianca, II, 65.
Cabrera (sierra), II, 84.
Cabrera (la), II, 976.
Cacérès, I, 346.
Cachiyugal, I, 422.
Cachiyuyo de Plata, II, 845.
Cadix, I, 283.
Caen, I, 533.
Caete, II, 938 et 939.
Cagliari, I, 471.
Caïtas, II, 405, 406, 408.
Cajamarca, II, 725, 829.
Calabazo, II, 253 à 256.
Calamita, I, 809 à 814.
Calaveras County, II, 920, 924.
Calaveras (riv.), II, 920.
Cabbecktel, II, 176.
Calabazo, II, 254.
Calera, II, 845.
Caleuzana, II, 520.
Caldera, II, 832.
Calderina, I, 542 et 543.
Calendozio, I, 810 et 811.
Calico, I, 254.
California (Cinabre en Californie), II, 711. (Mine du Comstock), 793 à 806.
Californie, I, 91, 253 à 255, 601 ; — II, 37 et 38, 59, 147, 711 à 721, 919 à 925, 961, à 969, 996.
Calistoga, II, 721.
Call, II, 522, 653.
Callao (*el*), II, 896 à 902.
Caltanisetta, I, 267, 269, 271, 275; II, 559.
Calumet and Hecla, II, 312, 315
Calvados, I, 737 et 738.
Camargue, I, 471.
Camarthenshire, II, 907.
Cambridge, I, 479.
Camden, II, 91.
Camel, I, 581.
Campan, I, 546.
Campidano, II, 769.
Campiglia maritima, II, 149 et 150.
Camsdorf, II, 85.
Canavieiras, I, 27.
Canala, II, 52.
Canale, I, 264.
Candelaria, II, 823.
Canigou, I, 676 à 685.
Canjargum, I, 240.
Canquenes, II, 928.
Cantal, I, 595 ; — II, 196.
Cantera, II, 823.
Cap (le), I, 10 et 11; — II, 984.
Caparosa, I, 499.
Cap-de-Fer, I, 721.
Cap-de-Garde, I, 724.
Cap-Nord, I, 705.
Capo Rosso, II, 25 et 26.
Capulin (le), II, 826.
Carabaya, II, 929.
Caracoles, I, 422 ; II, 841, 848 et 849.
Carapatos, II. 938 et 939.
Caratal, II, 901.
Carbonara, I, 690, 691.
Carbonate Hill (Leadville), II, 648.
Cardiganshire, II, 907.
Cardona, I, 498.
Cargo, II, 914.
Caribon, II, 566.
Carinthie, I, 747 à 749; — II, 177, 268 et 269, 424 à 427, 525, 621.
Carlsbad, II, 586, 605, 608.
Carlsruhe, II, 973.
Carmen, II, 552, 553, 555, 818, 819, 820, 825, 826.
Carniole, I, 747 à 749; — II, 618 à 621, 686 à 697.
Carolina (*la*), I, 664; — II, 540.
Caroline du Nord, II, 166, 953, 1001.
Caroline du Sud, I, 404, — II, 953.
Carpa, II, 831.
Carpto (El.), II, 296.
Carrapatos, II, 939.
Carrare, I, 546, 568.
Carrickfergus, I, 496.
Carrizal, II, 253.
Carroll county, II, 90.
Carson Hill, II, 924.
Carlesville, II, 30.
Carthagé, II, 90 et 91, 986.
Carthagène, II,146.
Carthagène (sierra de), I, 768; — II, 550 à 556.
Carucedo, II, 976.
Casa Bianca, I, 728 et 729; — II, 199 et 200.
Caspienne (mer), I, 94.
Castelberg, II, 656 et 657.
Castel del Piano, II, 699.
Castellazzara, II, 699 à 701.
Castelneau, I, 581; — II, 434.
Castel Termini, I, 274.
Castemo, II, 845.
Castiglione, I, 671.
Castillina, I, 568.
Castillo de las Guardias, II, 296.
Castlemaine, II, 971.
Castrijana, I, 790, 796.
Castro virreina, II, 829.
Castuera, II, 549 et 550, 778.
Catalogne, I, 498; — II, 201.
Catane, I, 153, 269, 703.
Catapilco, II, 928.
Catellina maritima, II, 236.
Catharina, I, 765 et 766.
Catherine, II, 792.
Catorce, II, 821 et 822.
Cattas Altas, II, 941.
Catura, I, 48.
Caucase, I, 94 à 116, 155, 607; — II, 17 à 22, 90, 345 à 348, 707.
Caucase (le) (Sibérie), II, 562.
Caumont, I, 581.
Caunes, I, 546.
Cava Grande, I, 609.
Cava Theresia.
Caveira (*la*), II, 296, 296, 301.
Cava Vecchio, I, 609.
Cavina (la), II, 149 et 150.
Cayac, II, 830.
Cayenne, II, 989.
Caylus, I, 349.
Cazalla, II, 777 et 778.
Ceclairis, I, 344.
Cefn Coch, II, 908.
Cefndenddwr, II, 908.
Celle Bruère, I, 533.
Cendras, II, 432.
Cents Camarelle, II, 149 et 150.
Central Alleghany, I, 75.
Central group, II, 797.
Central mine, II, 312.
Ceres, II, 907.
Ceresoles, II, 907.
Cerro Blanco, II, 254.
Cerro de Cacheuta, II, 832.
Cerro de Chorolque, II, 849.
Cerro de la Plata, II, 845.
Cerro del Sol, II, 977.
Cerro de Pasco, II, 829, 831.
Cerro de Potosi, II, 848.

Cerro de Proano, II, 822.
Cerro de Tamaya, II, 253 et 254.
Cerro di Cotorinano.
Cerro Muriano, II, 296.
Cerro Nero, II, 832.
Cesena, I, 282.
Cesterfield, II, 166.
Cettine di Cotorniano, II, 203.
Cévennes (les), II, 204, 972.
Cevia, II, 66.
Cèze (la), II, 972.
Chabrignac, II, 516 et 517.
Chacay, II, 254.
Chaïtanka, I, 248.
Chalindrey, I, 369.
Chalines, I, 545.
Chalanches, II, 520, 682, 779 à 781.
Champigneulles, I, 772.
Champigny, I, 534.
Champlain (lac), I, 700.
Champimarea, II, 830.
Champvans, I, 561.
Chamrajunggar, II, 982.
Chanac, II, 195.
Chañaral, II, 253.
Chañarcillo, II, 69, 841, 846 et 847.
Changes, I, 774 à 777.
Chantenay, II, 625,
Chanteloube, I, 240; — II, 144, 172 et 173, 464.
Chanteloup, I, 804.
Chapada (*la*), I, 25.
Chaparrito, II, 296.
Chapelle Saint-Ursin (*la*), I, 804.
Charcas, II, 724.
Charente, I, 533.
Charité (la), I, 533.
Charlestown, I, 404.
Charlotte Habour, 407.
Charly, I, 532.
Charmes, II, 204.
Charterstowers, II, 917, 971.
Chassigny, II, 1002.
Chatam (U.-S.), II, 69, 91.
Chatanvoga, I, 745 et 746.
Château-du-Loir, I, 390.
Château-Landon, I, 534.
Châteaulin, I, 230.
Châteauneuf, II, 507 et 508.
Chatillon, I, 482.
Chatillon-en-Diois, II, 429.
Châtillon-sur-Seine, I, 788.
Châtre (la), II, 517.
Chattemone, I, 230.
Chauvigny, I, 533.
Chavigny, I, 782, 806.
Chazelais, II, 781.
Chazelles, II, 196.
Checo (le), II, 845.
Cheduba, I, 143.
Chellaston, I, 563.
Chemiry, I, 533.
Cher, I, 371, 532, 533, 797 à 804.
Cher (vallée du); I, 797 à 804.
Cher (riv.), I, 804.
Cherbourg, I, 230.
Cherence, I, 534.
Cherokeeflat, II, 925.
Cheshire, I, 489 à 496.
Chessy, I, 291; — II, 177.
Chester (U. S.), I, 605.
Chevigny, I, 192.
Chevillon, I, 534.
Chézery, I, 182.
Chico, II, 721.
Chico (El), II, 825.
Chicoutimi-Jonquières, I, 227.
Chihuahua, II, 821.
Chili, II, 726.
Chili (filon), II, 901.
Chillan, II, 928.
Chingoles, II, 254.
Chio, I, 546.
Chippal, I, 546.
Chitry-les-Mines, II, 517.
Chivasso, II, 975.
Choca, II, 829
Choco, II, 993, 1000, 1002.
Chodschent, II, 562.
Chollar Potosi (*Comstock*), II, 797, 805.
Chonta, II, 725.
Chorcho, II, 1000.
Chorges, I, 546.
Chorulque, II, 150, 165 et 166, 849.
Chrétien, II, 782.
Christiania, I, 705; — II, 287, 755.
Christiansand, II, 64.
Christiansgrube (Röraas), II, 288.
Chroscha, II, 22.
Churprinz, II, 587, 595.
Chutia Nagpur, II, 177, 982.
Cien-Pozuelos, I, 525.
Cieux, II, 143, 172 et 173.
Cimicia, I, 270, 271, 278.
Cincura, I, 24.
Ciply, I, 397.
Ciudad Real, II, 22 à 25, 547 à 549, 672 à .
Civita Vecchia, I, 471.
Clairac, II, 432.
Claire-fontaine, I, 625.
Clansayes, I, 375.
Clarion, I, 75.
Clarpon, II, 432.
Clausthal, II, 577, 580.
Clear (lac), I, 253, 713.
Clear-Creek, II, 567.
Cleator, I, 756.
Clementina, I, 609.
Cleydang, II, 148 et 149.
Cliffmine, II, 312.
Cligga-Point, II, 123.
Clinton-County, II, 98.
Clogau, II, 907 et 908.
Cloncurry, II, 166.
Coblentz, I, 695; — II, 26, 522 et 523.
Cobra, II, 253.
Cocon (sierra de), I, 690.
Coffee fontein, I, 17.
Cogne, I, 657.
Cogoti, II, 255.
Coïmbra, I, 587.
Coleraine, I, 228.
Coleraine, I, 228.
Colettes (*les*), I, 618 et 619; — II, 144, 194.
Collaracua, II, 855.
Cologne, II, 653.
Colombus Marsh, I, 255.
Colon, II, 912.
Colorado, I, 92; — II, 91, 97 et 98, 166, 268, 567 et 568, 637 à 651, 945.
Columbia, II, 953.
Columbo, I, 48.
Comaille (*la*), I, 192.
Comairas (côte de), I, 788.
Combarbala, II, 254.
Côme, II, 559.
Comillas, II, 437 et 438.
Commarnicu, I, 502.
Commentry, I, 187.
Commern, II, 522, 655 et 656.
Comstock, II, 793 à 806.
Concepcion, II, 296, 826 et 827.
Concha, I, 791, 793.
Conchucos, II, 829.
Concorde, II, 315.
Condorcet, I, 585 et 586.
Condrieu, II, 972.
Confessionario, II, 301.
Confidence, II, 924.
Confort, I, 182.
Conil, I, 587.

Coniston, I. 753 et 754.
Connage, I, 533.
Connecticut, II, 69, 91, 98, 177.
Connerré, I, 390.
Consecuancia de Berlanga, II, 550.
Consolidated, II, 924.
Consolidated Virginia, II, 795, 797.
Constantine (Province de), I, 403, 546, 721 à 728; — II, 202, 205 et 206, 269 à 271, 1438 et 439, 683.
Cooper, II, 924.
Copiapo, II, 254.
Copperfels, II, 312, 315, 316.
Copper Hill, II, 836.
Copper Queen (Arizona), II, 262 et 263.
Coquimbo, II, 254 et 255.
Corbigny, II, 517.
Corbonod, I, 182.
Corcega, II, 188.
Cordoue, II, 296.
Corinna, II, 901.
Corinthe (isthme de), I, 284.
Cornacchino, II, 699, 703.
Cornwall (U.-S.), I, 701.
Cornwall, I, 238; — II, 12, 112 à 127, 164, 172, 176, 180, 200, 209, 908.
Coro-coro, II, 328 et 329.
Coromandel, II, 919.
Coronada (la), II, 296.
Coronel, II, 255.
Corphalie, II, 524 et 525.
Corrèze, I, 230; — II, 161, et 162, 195, 516 et 517.
Corris, I, 236.
Corse, II, 241 et 242, 520 et 521, 683.
Corse (cap), II, 683.
Cosnes, I, 782.
Coste-Durfort, II, 433, 436.
Costilla (County), II, 97.
Costa (la) (Perou), II, 929.
Côte-d'Or (Afrique), II, 984 et 985.
Côte-d'Or, I, 368, 536, 561, 774, 788.
Cotes-du-Nord, I, 738.
Cothy (riv.), II, 907.
Cotola Luz, II, 527, 535, 537.
Coussac, I, 621, 622.
Coussac-Bonneval, II, 195.
Courlande, I, 153.
Craigumier, II, 75.
Crandal, II, 924.
Crater, II, 924.
Crauston, I, 46.
Crawford, II, 908.
Crépy, I, 534.
Cresevo, II, 706.
Creu, II, 681.
Creuse, I, 238, 461; — II, 143, 173.
Creusot (le), 774.
Creutzwald, II, 656.
Creuzburghutte, I, 771.
Crevic, I, 486.
Crimée, I, 94, 520.
Crimora, II, 11 et 30.
Crisoleja, II, 551.
Cristales (Los), II, 928.
Croatie, I, 128.
Croix-de-Fauric (la), II, 433.
Cronfield, I, 756.
Crossgate, I, 761.
Crossgill, I, 754.
Crown point (Comstock), II, 797, 805.
Cruas, II, 724.
Crussol, I, 373.
Cruvin, II, 83.
Cruz (la), II, 538.
Csertès, II, 936.
Csiklova, I, 661.
Cubach, I, 364.
Cucuru-Faris, II, 409, 411.
Cudgegong, II, 127.
Cueva de la Mora, II, 296.
Culvas de Vera, II, 681.
Cumberland, I, 48, 752 à 760; — II, 176, 417.
Cumberland (U.-S.), I, 91.
Cumberland Hill (N. A.), I, 46.
Cummoch, I, 48.
Cuorgne, II, 975.
Curico, II, 254.
Cusset, II, 243.
Custer County, II, 147.
Cwn-Orthin, I, 236.
Czarkowo, I, 284.
Czerwenitza, I, 225.
Cziklova, II, 163 et 258.

D

Daghestan, I, 94; — II, 707.
Dagh-Hardi, II, 37.
Dahlonega, 953 et 954.
Dakota, II, 147.
Dakota (Black Hills), I, 46; — II, 954.
Dalarna, I, 705.
Dalkarsberg, I, 703, 708.
Dalmatie, I, 215, 471.
Dalt, I, 682.
Dambovitza, I, 118.
Damparis, I, 533.
Dannemora, I, 703, 707, 708, 714 à 719.
Danube (fl.), I, 502.
Darcy, I, 231.
Daschkessan, II, 90.
Davidson County, II, 953.
Davidson (monts), II, 794, 799, 803.
Davidstowe, II, 908.
Daxland, II, 973.
Dean forest (U.-S.), I, 701.
Death Valley, I, 254.
Decize, I, 559, 625.
Deduchkine, I, 478.
Dees, I, 505.
Delhi, I, 547.
Delirio, II, 845.
Denbigshire, II, 417.
Denholm, I, 339.
Derbyshire, I, 308, 562, 614 à 618.
Dereham, I, 90.
Descada, II, 848.
Descubridora, II. 832.
Détroit (Arizona), II, 262 et 263.
Deux-Sèvres, I, 373, 533.
Deville, I, 231.
Devon Great Consols Copper mine, II, 209.
Devonshire, I, 308; — II, 12, 209.
Diaccialetto, II, 701.
Diamantina, I, 23.
Diamondrange, II, 626.
Diano-Marina, I, **542** et **543**.
Diaz, II, 848.
Diegenbusch, II, 422.
Diélette, I, **734** à **737**.
Dieu-Merci, II, 988.
Dieuze, I, 484 et 485, 561.
Diez, II, 27.
Digne, I, 563.
Dillen, II, 786.
Dillenburg, I, 750; — II, 70.
Dimaina, II, 242.
Dinowic, I, 236.
Dion, I, 546.
Dissay, I, 391.
Diukisa, II, 984.
Djebla, I, 403.
Djebel-Babor, II, 206 et 207.

Djebel-Hamimat, II, 205 et 206.
Djebel-Nador, II, 439.
Djebel Reças, II, 651 et 652.
Djebel-Taïa, II, 202.
Dlaskowitz, I, 246.
Dees, I, 505 à 509.
Dniester, I, 361.
Dobschau (Dobsina), II, 72, 85, 704 et 705.
Doffana (la) (riv.), I. 502.
Dognacska, I, 661 et 662; — II, 258.
Doire Baltée (riv.), II, 974 et 975.
Dole, I, 533.
Döllach, II, 268 et 269.
Dolorès, II, 845.
Domanitch, II, 36 et 37.
Dombasle, I, 484, 486.
Dombrowa, I, 769.
Domingo Florès, II, 976.
Dom-le-Mesnil, I, 533.
Domsdorf, I, 413.
Donetz, II, 707.
Donzenac, I, 230.
Dordogne, I, 290, 613, 625 à 627.
Dore (Mont), I, 607.
Dornburg, I, 587.
Dos, II, 524 et 525.
Dossena, II, 426.
Dôtel, II, 522.
Doubs, I, 482, 533, 561, 788.
Douglas County, II, 59.
Douville, I, 228.
Dracy-Saint-Loup, I, 192.
Draguignan, I, 367.
Drammen, I, 705.
Drehfeld, II, 587.
Drôme, I, 375, 585 à 587; — II, 429 à 431.
Drôme (la) (riv.), II, 429.
Drun Lummon, II, 264.
Dubensko, I, 765 et 766.
Dublineau, I, 567.
Ducha, I, 547.
Duchessa (la), II, 396 et 397.
Duck-Creek, I, 91.
Dudelange, I, 778.
Dukla, I, 124.
Dulkarsberg, I, 702 à 719.
Dumbea, II, 54.
Dun (chaine de), II, 1002.
Dun-le-Roi, I, 800, 804.
Durham, I, 489.
Durango, II, 147, 926.
Durazzo, II, 927.
Duren, II, 653.
Dürnberg, II, 606, 608.
Dusseldorff, II, 415.
Dutoits-Pan, I, 10.
Dwiniacz, I, 155.

E

East Basset, II, 121.
East Pool, II, 164, 172.
East Wheal Lovell, II, 122.
Eastern ghauts, II, 982.
Echassières (*les*), I, 619.
Echunga, II, 917.
Eckholshausen, I, 363; — II, 27, 127 à 136, 177.
Ecosse, I, 187, 766; — II, 75, 177, 707 et 708, 908.
Edough, I, 722.
Egersund, II, 98.
Ehrenfriedersdorf, I, 238, 241, 729; — II, 128, 598.
Eibenstock, II, 128, 133, 598, 603, 605.
Eifel, II, 412.
Einsiedeln, I, 401.
Einville-au-Jard, I, 484 et 485.
Eipel, II, 328.
Eiringhausen, II, 415.
Eisenbach, II, 785, 786, 791, 792.
Eisenberg, I, 628.
Eisenerz, I, 747, 749.
Eisleben, I, 230, 237.
Eiswold, II, 909.
Ekaterinenbourg, I, 238, 240, 248, 666; — II, 59, 83, 245, 251 252 et 979.
Ekaterinoslaw, I, 738.
Eckholmen (*île d'*), II, 176.
Elbe (île d'), I, 240, 808 à 815; — II, 150.
Elbe (fl.), II, 585.
Elbingerode, I, 749 et 750; — II, 27.
Eldorado (County), II, 920, 924.
Elgersburg, II, 17.
Elisabethpol, II, 94, 346.
El Moro, I, 790 à 796.
Elsmore, II, 167, 177.
Eltone, I, 519.
Elvas, II, 277.
Ely, I, 379.
Elysée, II, 988.
Emerald Mine, I, 339.
Emilia, II, 74.
Emma mine, II, 564, 624 et 625.
Empire (Névada), II, 797.
Empire (Californie), II, 925.
Ems, II, 522 et 523.
Emu Creek, II, 917.
Endellyon, II, 200.
Enghien, I, 563 à 565.
Engis, II, 524 et 525.
Enniskilen, I, 90; — II, 448.
Enriquita, II, 718.
Enville, I, 533.
Epernon, I, 534.
Eperiès-Tokay (chaine), II, 930.
Ephèse, I, 605.
Epidaure, II, 242.
Epoisats, I, 212.
Erbisdorf, II, 587.
Erlenbach, II, 521.
Ervé (lac), I, 587.
Erzberg, I, 747 à 749.
Erzgebirge, II, 82, 85, 96, 210, 585, 606.
Escaro nord, I, 682.
Ecaro sud, I, 682.
Eschelbronn, II, 427 et 428.
Escourchade (l'), I, 208.
Eskdale, I, 753.
Esky-Cheir, I, 575 et CXI.
Esmeralda, I, 255; — II, 841 et 845.
Esmeralda County, I, 255.
Espedal (val d'), II, 63.
Esperanza, II, 74, 552, 553.
Esperanza y Berenguela, II, 539.
Espiritu-Santo, II, 165 et 166.
Essex County (U.-S.), II, 98.
Estramadure, I, 201, 344, 546.
Estremeas, I, 546.
Eskis, II, 448.
Etna, I, 271; II, 703.
Eubée (île d'), I, 573 et 574; — II, 37.
Eulen, II, 522.
Eupatoria, I, 520.
Eupen, II, 417, 525.
Eure, I, 613.
Eureka (Nevada), II, 563, 626 à 637.
Eureka C°, II, 630, 636.
Eureka (Californie), II, 794.
Evigstock, I, 600.
Eyzies (*les*), I, 625 à 627.

F

Faczebaja, II, 930.
Fage (la), II, 196.

Fagundus, I, 75.
Fahlun, II, 64, 163, 181, 210, 282 à 287.
Falgonne, I, 682.
Famatina, II, 832.
Faria, II, 939 et 940.
Farquah (collines de), II, 985.
Favara, I, 586.
Felsobanya, II, 210, 525, 930, 931, 935.
Fenegusibiri, II, 67.
Ferrali, I, 542 et 543.
Ferreira, II, 681.
Ferreria (la), I, 690, 693.
Ferrière (la), I, 733.
Ferrières, I, 784.
Ferté-Bernard (la), I, 391.
Ferté-sous-Jouarre (la), I, 534.
Festieux, I, 534.
Festiniog, I, 236.
Fezzara (Lac), I, 721, 728.
Fichtelgebirge, II, 200, 909.
Figueroa, II, 556.
Filfila, I, 546.
Fillols, I, 676, 682, 685.
Finbo (Suède), II, 181.
Finbo (Suisse), II, 98.
Findlay, I, 56.
Finistère, I, 230, 613.
Finksburg, II, 90 et 91.
Finlande, II, 98, 448.
Fins, I, 367, 561.
Fish Lake, I, 255.
Flainval, 486.
Fleurus, I, 579 à 581.
Flintshire, II, 76, 88, 89, 90, 617.
Florange, I, 806.
Florence, II, 236, 559.
Florence (U.-S.), I, 92.
Florida (la), II, 845.
Floride, I, 407 à 410.
Folberg, I, 707.
Foldal, I, 705; II, 291 et 292.
Fons-Bouillans, II, 433, 436.
Fontaine-aux-Roches (la), I, 785.
Fontanamare, II, 390.
Forbestown Consolidated, II, 925.
Forges, I, 613.
Forêt (la), I, 232.
Forêt-Noire, II, 82, 162, 200, 427 et 428,
Forest-Hill, II, 962.
Forez, I, 603.
Forni Avoltri, II, 698.
Forno, I, 609.
Fortunatus, II, 256 et 257.
Fou-Cheou, I, 473.
Fouchères, I, 373.
Framont, I, 290, 766.
Franciscus, I, 662.
Franco España, I, 693.
Franciska. II, 413.
Franconia. II, 91.
Frankenberg, II, 343.
Franklin, I, 701.
Franklin-Furnace, II, 177.
Fraser, I, 186.
Fraternidad (la), I, 690, 693.
Frauenfels, I, 365.
Freiberg, II, 71, 210, 416, 462, 584 à 610.
Fréjus, I, 367.
Fremont, I, 290; — II, 568.
French-Corral, II, 969.
Frente (sierra de), I, 690.
Fresnillo, II, 822 et 823.
Freycenet, II, 196 et 197.
Freyer-Hill, II, 650.
Freyhung, II, 657.
Friedensville, II, 462.
Friedrich, II, 594.
Friedrichs grube, II, 451.
Friesach, I, 747.
Frioul, II, 698.
Frizington, I, 756.
Frolow, II, 242.
Fronts range, II, 640.
Front, II, 975.
Frouard, I, 782.
Fuente del Rayo, II, 778.
Fulvanna County, II, 954.
Fumades (les), I, 209.
Fumay, I, 231.
Furnace Creek, I, 255.
Furness, I, 754, 760.
Furness County, I, 760 à 763.

G

Gabegottes, II, 782.
Gabian, I, 142.
Gafsa, I, 401.
Gagnon, II, 265.
Galadora, I, 741.
Galdones, I, 790, 794, 796.
Galice, I, 50; — II, 74, 145, 975 à 977.
Galicie, I, 124, 155, 510 à 514,
Gallatin, I, 91.
Gallena, II, 560.
Galles (Pays de), I, 236 et 237, 766; — II, 907 et 908.
Gaming, I, 155.
Gangalandi, I, 609.
Ganges, II, 433.
Gangpur, II, 982.
Gard, I, 209, 296, 297, 536, 585, 766, 771 à 774, 788; — II, 431 à 436, 514 à 515.
Gardette (la), II, 972.
Gardon, II, 432.
Garonne (riv.), II, 972.
Garrucha, I, 691.
Gasconne (mine), II, 38, 52.
Gastein, II, 909.
Gate (*cap de*), I, 326, 690.
Gavrilof, II, 980.
Gèfle, I, 782.
Geirangerfjord, I, 706.
Gellenoncourt, I, 484.
Gellivara, I, 702 à 704, 709.
Gênes (côtes de), I, 230.
Genil (le), II, 977.
Genna arenas, II, 405.
Gennamari, II, 390, 392.
Gentilly, I, 613.
Georgenberg, II, 449 à 460.
Georgenstadt, II, 180.
Géorgie, II, 30, 166, 953.
Georgina, I, 765 et 766.
Gerbstadt, II, 71.
Germ, II, 11.
Germigny, I, 371.
Gersdorf, II. 58*i*, 594.
Geyer, I, 238; — II, 128, 129, 130, 172, 598.
Gharbo, II, 439.
Ghio, II, 55.
Gianetta, I, 153,
Gias del Gallo, I, 671 à 673.
Gibellina, I, 267.
Gilpin County, II, 945.
Gimouille, I, 785.
Giona (Solfare), I, 272 et 273.
Giordano (*Solfare*), I, 271.
Giovanni-Bonu, II, 770, 773 à 775.
Gippsland, II, 914 à 916, 970.
Girgenti, I, 272, 275, 586.
Giromagny, II, 782.
Gironde, I, 400.
Gistain, II, 74, 210.
Givors, II, 972.
Gladhammar, II, 87, 200, 210.

Glandon, II, 195.
Glaris, II, 277.
Gleiwitz, I, 769.
Glen-Innes, II, 167.
Gloriosa, II, 296.
Glorymine, II, 614 à 618.
Gloucestershire, I, 587.
Glückauf, II, 782.
Glucksbrunn, II, 85.
Gnade gottes, II, 256 et 257.
Godalore, II, 982.
Godavery, II, 982.
Godbrange, I, 782.
Gogofan, II, 907.
Golconde, I, 602.
Gold Blossom, II, 924.
Golden age, II, 836.
Golden Gate, II, 924.
Gold grube, II, 256 et 257.
Gold Hill group, II, 797, 808, 801, 805.
Gold Kronak, II, 200.
Gold Tunnel, II, 925.
Göllnitz, II, 277.
Gollyre, II, 74 et 75.
Golungo Alto, II, 985.
Gomœ, I, 659.
Gondo, II, 904 à 907.
Gondomare, II, 188.
Gongola, II, 985.
Gonos Fanadiga, II, 67.
Gorda, II, 723 et 724.
Gorno, II, 426.
Goroblagodatsk, II, 39 et 40, 995, 996, 998.
Gorwild, II, 521.
Gosaldo, II, 697; — II, 236.
Goslar, II, 577.
Gothic, II, 91.
Gouhenans, I, 484.
Gould and Curry, II, 796, 796, 805.
Goumechewsk, I, 248.
Goultes-Pommiers, II, 16.
Govora, I, 118.
Goyaz, I, 24.
Goyeta, II, 57.
Gozlar, II, 323 à 326.
Gran, II, 930.
Grand Bois, I, 621.
Grand Clos, I, 622.
Grande Goutte (La), I, 782.
Grandes Salines (Les), I, 503.
Grande Vallée, I, 745 et 746.
Grand Filon, II, 13 à 16.
Grand Murojnaia, II.
Grand Paz, II, 74 et 75.
Grand Pit, II, 981.
Grandore, I, 374, 789.
Grange (la) II, 507.
Grangesberg, I, 703, 708.
Granite Mountain, II, 264, 808 et 809.
Grapo Creck, II, 97.
Grao major, I, 24.
Grasberg, I, 708.
Graupen, II, 127, 128, 135, 172.
Great eastern (Californie), II, 711, 717 et 718.
Great flat lobe, II, 120.
Great western (Californie), II, 711, 717 et 718.
Greenhill, II, 209.
Greensville, I, 547.
Greifenbuelz, II, 621.
Grenade, II, 305 et 306, 681, 977.
Grenoble, I, 230, 534.
Grenouillè (la), I, 533.
Gressoney, II, 907.
Gresten, I, 155.
Grèz-en-Bouère, I, 546.
Grise (la), II, 436.
Griton, II, 845.
Grochau, I, 574.
Grodno, I, 387.
Grondskoe, I, 521.
Grosseto, II, 236.
Gross Flagrant, II, 268 et 269.
Gross Schirma, II, 587.
Gross Valley, I, 745 et 746 ; — II, 924 et 925.
Grotta Calda, I, 267, 270.
Grozon, I, 561.
Grund, II, 577 et 578.
Guacipati, II, 898.
Guadalajara (sierra), II, 778.
Guadalcanal, II, 84, 777.
Guadalcazar, II, 722 et 724.
Guadalupe, II, 718.
Guadalupe del oro, II, 826.
Guadalupe de los Reyes, II, 724.
Guadiz, II, 305 et 306.
Guaina-potosi, II, 165 et 166.
Guamacucho, II, 829.
Guanabacoa, I, 169.
Guanajato, II, 166, 723 et 724, 824 et 825.
Guantajaya, II, 841.
Guaracaro, I, 167.
Guargueli, II, 36 et 37.
Guarisamey, II, 926.
Guayacan, II, 255.
Guenitchesk, I, 520.
Guejar-Sierra, II, 305 et 306.
Guerche (La), I, 371.
Guerrero, II, 723 et 724.
Guerrouma, II, 438 et 439.
Guetin (le), I, 533.
Guiflertre, I, 546.
Guipuzcoa, II, 681.
Gulf (the), II, 167.
Gumechewsk, II, 251.
Gummarbach, II, 522.
Gunnech-Daglia, I, 605.
Gunnison, II, 98.
Gunnison County, I, 46; — II, 91, 96.
Guntang, II, 148.
Guto (El), II, 296.
Guyane anglaise, II, 989.
Guyane française, II, 986 à 989.
Guyane hollandaise, 989.
Gwynfyndd, II, 908.
Gya, I, 547.
Gympie, II, 914, 917, 971.
Gzetteback, II, 163 et 164.

H

Haardtbruch, I, 542.
Hachinhaua (*lac*), I, 254.
Haddam, II, 177.
Hadjibei, I, 521.
Hœstenrath, II, 417.
Hafadty, II, 10.
Haibes, I, 231.
Haile mine, II, 953.
Hale and Norcross, II, 797.
Halifax, II, 953.
Halle, I, 478, 480, 481.
Hallein, I, 478, 480.
Hallstadt, I, 478, 480.
Hamaren, I, 517.
Hamey park, II, 147.
Hammam N'Bails, II, 439.
Hampdenshire (Us), I, 605.
Hanovre, I, 137, 138, 230, 674, 749, 750, 777; — II, 17, 71, 85, 200, 209, 323 à 326, 329 à 342, 463, 577 à 584.
Hardangerfjord, II, 909.
Hardivilliers, I, 392.
Harlech, II, 10.
Harz (le), I, 230, 674, 749, 750; — II, 17, 200, 209, 463, 577 à 584, 597.

Harzbourg, I, 777.
Hasbeya, I, 174.
Hassenberg, II, 417.
Hasternach, II, 522.
Hauer, II, 163.
Hauerhille, II, 210.
Hausach, II, 522.
Haute-Garonne, I, 546; — II, 519.
Haute-Loire, I, 603; — II, 197 et 198, 515 et 516.
Haute-Marne, I, 784; — II, 1002.
Hauterive, I, 192.
Haute-Saône, I, 369 et 370.
Haute-Vienne, I, 240, 620 à 624; — II, 142, 143, 144, 172 et 173, 195, 464, 662.
Hautes-Alpes, I, 546, 566.
Hautes-Pyrénées, I, 41, 546; — II, 11, 463, 518.
Haut-Pérak, II, 154.
Havane (la), I, 170.
Haver-Hill, II, 210.
Hayange, I, 778.
Hawkin'shill, II, 917.
Heilbronn, I, 483.
Heidelberg (Transvaal), II, 956.
Hérault, I, 142, 597; — II, 683.
Hérault (fl.), II, 433.
Hérauli, II, 972.
Hermanstadt, I, 505.
Herrerias (las), I, 690; — II, 296.
Herserange, I, 782.
Hesse, II, 85, 343.
Heltstadt, II, 71.
Heubronn, II, 520, 522.
Hiakumai, II, 833.
Hien de Encina, II, 778.
Highhouse mine, I, 754.
Hightor, II, 616.
Higuera, II, 253.
Hillang, I, 703.
Hillsborough (N.-E.), I, 186.
Hillsborough (N.-B.), I, 170.
Himmelfahrt, II, 587, 588, 593, 596, 597, 601.
Himmelfürst, II, 587, 588, 597.
Hirado, II, 710.
Hlinik, II, 786.
Hoang-Hai, II, 709.
Hochwald, II, 657.
Hod Barrow, I, 754, 759.
Hodristch, II, 786, 791.
Horing, I, 215.
Hofen, II, 521.
Högborn, I, 708.
Hohenellec, II, 328.
Hohenzollerngrube, II, 451.
Hohnstein, II, 585.
Holder, II, 924.
Holtandère, II, 87.
Holtkamp, II, 427.
Holzappel, II, 522, 523.
Honailou, II, 52.
Hongrie, I, 225, 302, 528, 587, 607, 661; — II, 72, 85, 98, 177, 180, 192, 193, 202, 277, 525, 704, 705, 783 à 793.
Horbach, II, 68.
Horcajo, II, 547 et 548.
Horde, I, 763 et 764.
Horhausen, I, 695.
Hormer Hill, II, 1001.
Hormuz, I, 517.
Hornos (los), II, 927.
Hortegal (cap), II, 74.
Hotespring County, II, 99.
Hovedgrube, II, 765.
Hualgayac, II, 829.
Huanca Velica, II, 725, 829.
Huanchaca, II, 849 à 854.
Huanchaca de Potosi, II, 848.
Huantajaya, II, 829.
Huaraz, II, 831, 854.
Huasco (Chili), II, 69, 90.
Huauntla, II, 827.
Hubertus, II, 128, 134.
Hudson river, I, 186.
Huelgoat, I, 613; — II, 505 et 506.
Huelva, II, 296 à 302.
Huelkind, I, 238.
Huerta de la Romanera, II, 296.
Huesca, II, 74, 83.
Huggel, I, 768.
Huitzuco, II, 724.
Hülfegottes, II, 755 à 768.
Hull, I, 339.
Hultschin, II, 452.
Hunyad, II, 930.
Huron (lac), I, 186; — II, 68.
Hussigny, I, 782.
Huta Bankowa, I, 769.
Huttenberg, I, 747.
Hvideberg, I, 658.

I

Iano, II, 699.
Iarapaca, II, 829 à 832.
Ibbenbuhren, I, 768.
Idaho, II, 925.
Idlekansk, II, 708 et 709.
Idria, II, **686 à 695**.
Ieledavelpol, II, 90.
Iena, I, 587.
Ieni-Damar, I, 575.
Iglesias, II, 390, 392, 394, 559.
Iglesiente, II, 387 à 412.
Igornay, I, 191.
Ikuno, II, 833.
Ile royale, II, 312.
Ilfeld, II, 17.
Illapel, II, 254.
Ille-et-Vilaine, I, 230; — II, 498 à 504.
Illinois, I, 91.
Illogau, II, 164.
Illsk, I, 112 et 113.
Ilmen (lac), I, 240.
Ilmen (monts), I, 238, 247, 603; — II, 98, 464.
Immekeppel, II, 415.
Imn-Esoftscha, I, 575.
Imperial, II, 797.
Inambari, II, 929.
Indrapoura, II, 983.
Inde, I, 29.
Indre, I, 371; — II, 517.
Ingo County, I, 254.
Ingouletz (riv.), I, 741.
Ingustosa, II, 392.
Innai, II, 833.
Inverary, II, 75.
Invernesshire, II, 176.
Inspruck, II, 424.
Irlande, II, 908.
Iron Hill, II, 646.
Iron Mountain, I, 675 et 676; — II, 31, 98.
Iron Ridge, I, 719 et 720.
Ischia, I, 607.
Ischl, I, 178.
Isenay, I, 785.
Isère, I, 141, 230, 534, 546, 653, 694, 784; — II, 98, 277, 520, 682, 779 à 781.
Isère (riv.), II, 972.
Iserlohn, II, 416.
Island (baie d'), II, 727.
Issoire, I, 607.
Istrie, I, 471.
Itabira, II, 941.
Itacolumy de Mariana, II, 939.
Iturrigori, I, 790, 794.
Ivrée, I, 671.
Ivry-en-Montagne, I, 561.

J

Jabel, I, 517.
Jackson, II, 210.
Jackson Canada industrial C°, I, 339.
Jackson et Phenix, II, 630.
Jadragun, II, 770.
Jaen, II, 526 à 546, 681.
Jagersfontein, I, 17.
Jagul, II, 69, 90.
Jaille-Yvon (la), I, 733.
Jaipur, II, 70, 90.
Jarapaca, II, 829.
Jarnböraland, I, 702.
Jaroso, II, 779.
Jasensk, I, 520.
Jashpur, II, 982.
Jarilla (la), II, 845.
Jauerburg, I, 747.
Java, II, 710.
Jefferson County, II, 945.
Jelisawetpol, II, 90.
Jersey, I, 605.
Jonnevilly, I, 602.
Joachimsthal, II, 82, 85, 96, 163, 180, 200, 209, 586, 589, 605 à 608.
Johanngeorgenstadt, II, 82, 128, 133, 162, 416, 598.
Johannesburg, II, 956.
Jondpore, I, 602.
Jonköping, I, 656.
Jordanswühle, I, 412.
Joué-en-Charny, I, 546.
Joyeuse, I, 772.
Judée, I, 161, 172 à 174.
Jujuy, II, 727.
Julian, II, 924.
Julio-Cesar, II, 555.
Jumilla, I, 326.
Jura, I, 533, 785.
Jyepore, I, 602.

K

Kaala, II, 55.
Kaap (de), II, 955, 959.
Kadapah, I, 29.
Kaiser, II, 917.
Kalamaki, I. 284, 573 et 674.
Kalamy (riv.), II, 980.
Kallmora, I, 703.
Kaltberg, II, 74 et 75.
Kampina, I, 118, 502 et 503.
Kanaoua, II, 52.
Kandahar (riv.), II, 982.
Kan-di-Crina, I, 741.
Kanithi, II, 982.
Kapnik, II, 525, 930, 931, **935**.
Kapoeas, I, 32; — II, 984.
Karadjonck, I, 575.
Karakhauh, I, 517.
Karemazar, II, 562.
Karesas, I, 722.
Kargalinsk, II, 327 et 328.
Karnul, I, 29.
Kasan, I, 285.
Kaschau, II, 193.
Katar, II, 345.
Kattowitz, I, 765 et 766, 769.
Katzenthal, II, 521.
Kef (le), I, 403.
Kef-oum-Theboul, II, **269** et **271**.
Kehl, II. 973.
Kekak, II, 148.
Kelchalp, II, 275 et 276.
Kelmisberg, II, **417**, **420**.
Keltonfell, I. 753.
Kemikli, I, 575.
Kenieba, II, 984.
Kentucky, I, 91.
Keratea, II, 379, 386.
Kergonano, I, 49.
Kern, I, 254.
Kertsch, I, 94, 520.
Keewenaw, II, 310, 311, 314, 317.
Keystone, II, 946.
Kharezas, I, 722.
Kharkow, I, 740.
Kherson, I, 738.
Khetri, II, 70.
Khram (la) (riv.), II, 347.
Kiadebeck, II, 345 à 347.
Kien-ouy, I, 473.
Kiew, I, 153, 387.
Kif-Larouri, I, 403.
Kilkivan, II, 727.
Kimasi, I, 573 et 574.
Kimberley, I, 11.
Kinkham Bambo, II, 985.
Kinsington County, I, 339.
Kingswells, I, 143.
Kirchberg, II, 792.
Kirchhausen, II, 521.
Kirchhorde, I, 763 et 764.
Kirgis, II, 562.
Kishen (île de), I, 517.
Kissbouru, I, 521.
Kistna, II, 982.
Kitzbüchel, II, 275 et 276.
Kwei-Chau, II, 709.
Klackberg, I, 703.
Klaggenfurth, II, 424, 621.
Klausenberg, I, 505.
Kleinkolg, II, 308.
Klefva, II, 64.
Kleinwaterval, II, 960.
Klerksdorp, II, 956.
Kliang-Baru, II, 148.
Klodeberg, I, 658; — II, 707, 755 à 768.
Kniviton, II, 615.
Knockmurton, I, 753.
Knoxville, II, 716 et 721.
Knut, II, 87.
Kœnigsberg, I, 153.
Kœnigswinter, II, 412.
Kolyvan, I, 225; — II, 562.
Koma (la) (riv.), II, 347.
Kongensgrube, de Rôraas, II, 287 à 291; de Kongsberg, 751 à 768.
Kongsberg, I, 171; — II, 756 à 768.
Konialnik, I, 521.
Königin-Marien, II, 582.
Königsberg, II, 452, 786.
Königshutte, I, 768 à 771.
Kopparberg, I, 702; — II, 63 et 64.
Kopreinitz, I, 128.
Kornilowsk, I, 248, 604.
Korsake-Moguila, I, 742.
Kosaka, II, 833.
Kotterbach, II, 277, 704 et 705.
Koua, II, 52, 54.
Kouaoua, II, 52.
Kouban (le), I, 94, 109 à 116.
Koursk, I, 384.
Kragerö, II, 64, 98.
Kragobach, II, 25.
Krakau, I, 505.
Kransberg, II, 522.
Krasnoïarsk, I, 49.
Kraubath, I, 574; — II, 40.
Kremnitz, II, 202, 525, 786, 792, 930.
Kresevo, II, 307 et 308.
Krestowosd-Wigensk, I, 248.
Krieglach, II, 40.
Krista, II, 148 et 149.
Krivoïrog, I, 738 à 742.
Krummau, I, 43.
Krylbo, I, 708.
Kuczaina, II, 661.

Kümper, II, 427.
Kupferberg, II, 272 et 273.
Kupferplatten, II, 275 et 276.
Kurdistan, I, 175.
Kurunavara, I, 702 et 703.
Kusa, II, 64.
Kusadzu, I, 144.
Kuznetsk, II, 980.
Kviril, II, 17 à 22.

L

Labastide, I, 50.
Labour (monts), I, 41.
Lac (le), I, 786 et 787.
Lachlan, II, 971.
Lac noir, I, 228.
Lacroix-aux-Mines, II, 782.
Lac Salé (grand), I, 522, 524, 564, 566.
Lac Supérieur, I, 719 et 720; — II, 309 à 321.
Ladak (riv.), II, 982.
Ladrillos, II, 844.
Lago Zolfereo, I, 251.
Lagunazo, II, 296, 301.
Lahat, II, 154.
Lahu (la), II, 261, 522 et 523.
Laissey, I, 785.
Lake, II, 717.
Lake city, II, 568.
Lake Culco, I, 92.
Lally, I, 191.
Lamure, II, 682.
Lancashire, I, 760 à 763.
Lancaster Gap, II, 69.
Lancastre (U.-S.), II, 69, 953.
Landas, II, 433.
Lande (la), I, 621 et 622.
Laneuveville, I, 486.
Langenelv (le), II, 755.
Langsee, I, 658 et 659.
Langvik, I, 703.
Lantegra, II, 305 et 306.
Lanzo II, 974.
Larak, I, 517.
Larderello, I, 251.
Largentière, I, 772.
Larout, II, 154 et 155.
Las Indis, I, 682.
Latera, I, 264.
Laubovoïa, I, 741.
Lauersberg, II, 417.
Laumide, I, 613.
Laur, I, 546.
Laurence County, II, 147.
Laurium, II, 375 à 387.
Lautenthal, II, 577, 581.
Lauza, I, 682.
La Voulte, I, 786 et 787.
Lavelin, I, 546.
Laxon, I, 782.
Leadhills, II, 177, 908.
Leadville, II, 563, 637 à 651, 794.
Leavenworth, II, 567.
Lebach, I, 767.
Lebiajinsk, I, 668 et 669.
Labiajinsk, I, 664 à 671.
Ledengsk, I, 477.
Left hand Creek, II, 945.
Lehig (vallée de), I, 745 et 746.
Lehrbach, I, 765.
Lelwar, (Mts), II, 347.
Lembach, II, 521.
Lena (La), II, 978.
Lenvensk, I, 478.
Léogang, II, 74.
Leporino, I, 214.
Lerberg, I, 708.
Lercara, I, 267, 270, 279, 586.
Lerouville, I, 533.
Letto--manopello, I, 134.
Levigliani, II, 697, 699.
Lexington, II, 265, 266, 808.
Lexy, I, 782.
Liaska, II, 932.
Liberdad, II, 929.
Libisch, I, 155.
Licata I, 267, 272, 279.
Licoulne (la), II, 196 à 198.
Liége, I, 606.
Liegnitz, II, 71.
Lignières, I, 533.
Ligurie, I, 542 et 543, 568.
Limburg, I, 362; — II, 27.
Limmer, I, 137.
Linarès, II, 526 à 546, 681.
Lindal Cole, I, 761.
Lindal moor, I, 760.
Lindenau, II, 71.
Lisan (le), I, 161.
Liskeard, II, 200.
Littaï, II, 618 à 621, 695.
Little rapid mine, I, 339.
Lixa, II, 188.
Llacca, II, 831.
Llangollen, I, 237.
Llechweld, I, 237.
Lobsann, I, 148.
Locarmo, II, 66.
Lochau, I, 473.
Lochhaber, I, 47.
Logau (vallée de), I, 587.
Logrosan, I, 345 et 346.
Loire, I, 766; — II, 195.
Loire-Inférieure, I, 733; — II, 157.
Loiret, I, 534.
Loja, II, 724.
Lolling, I, 747.
Lombardie, II, 273 à 275, 426.
Lombardose, II, 975.
Lomo de Bas (sierra de), I, 690.
Lomo de Encinal, II, 724.
Londervielle, II, 11.
Londsk, I, 475.
Longlaville, I, 782.
Longwy, I, 778, 782.
Lontzen, II, 417.
Lorea, I, 283.
Lorest river, II,
Lorraine, I, 561.
Lot, I, 349.
Lota, II, 255.
Lot-et-Garonne, I, 546.
Loubon Rajah, II, 983.
Louisville, I, 57.
Lovelock, II, 91.
Lozère, I, 585, 595; — II, 509 à 514, 515.
Lucretaro, I, 225.
Lüderich, II, 413 et 414.
Lüderich, II, 413 et 414.
Ludres, I, 782.
Lulla, II, 390.
Lunéville, I, 483 et 809.
Luosavara, I, 702, 707.
Lurcy-Levy, I, 560.
Lussat, I, 207, 697.
Lutton, I, 400.
Luz (la), II, 824 et 825.
Luzes, II, 196.
Luzy, II, 16.
Lydenburg, II, 955, 959.

M

Machetto, II, 177.
Machetillo, II, 254.
Macintyre river, II, 157 et 157, 174.
Macleay river, II, 201.
Macot, II, 520.
Mucugnaga, II, 905.
Madeleine (la), I, 486.
Madoine (monts), I, 267.
Madonna del Rovere, I, 542 et 543.
Madore, I, 270, 278.
Madras, II, 464, 982.

Madriat, I, 607.
Magdalena, II, 724.
Magna carta, II, 266, 808.
Magnet core, II, 99.
Magnolia, II, 946.
Magurka, II, 192 et 193.
Mahlembu, II, 148 et 149.
Mahuri (le), II, 986.
Maidan-Pek, II, 259.
Maine (U.-S.), II, 177.
Maine boy, II, 965.
Maine-et-Loire, I, 232, 731 à 734.
Maixe, I, 486.
Majdanpek, I, 661.
Mokelumme river, II, 967.
Makum, I, 143.
Malbosc, II, 196, 199
Malacalzetta, II, 392, 396 à 398.
Malacate, II, 826.
Malacca (presqu'île de), II, 148 et 149, 152, 174.
Malaga, II, 59, 74.
Mala noche, II, 823 et 824.
Malfidano, II, 392, 399, 405 à 409.
Malines (*les*), II, 429, 432 à 434, 514 et 515.
Malintrat, I, 208.
Maltratat, II, 724.
Malvina, II, 568.
Mammoth, II, 925.
Mana (la), II, 986, 987, 988.
Manbham, II, 982.
Manche, I, 230, 238, 401, 734 a 737; — II, 682.
Manding, II, 984.
Mandhum, II, 982.
Mandondi, I, 5.I et 574.
Manhattan, II, 711, 716 et 717.
Manisch (lacs de).
Manosque, I, 285.
Mans (le), I. 391
Mansfeld, II, 71, 85, 239 à 342.
Manto d'Ossa, II, 845.
Manzanita, II, 721.
Maquiné, II, 939, 941.
Marbache, I, 782.
Marbourg, II, 72.
Marcognac, I, 620 à 624.
Marengo, II, 917
Marienbad, II, 586.
Marianna, II, 940 et 941.
Marienberg, II, 82, 128, 586, 587, 598, 599, 605.
Marigné, I, 733.
Marinera, II, 146.
Mariposa, II, 921 et 923.
Marius, I, 533.
Markirch, II, 71, 82, 521.
Marmaros, I, 505 à 508.
Marmeissat, II, 196.
Marmolago (val de), I, 568.
Marmora, I, 700.
Marais (le), II, .
Mariagrube, II, 451, 457.
Mariposa (Co. n'y), II, 920
Maroni (le), II, 986, 988. et 923.
Maros-Ujvar, I, 505 à 509.
Marpont, I, 545.
Marquette, I, 719 et 720.
Marquise, I, 376.
Marsala, I, 267.
Martensberg, II, 135.
Martiane (riv.), II, 999.
Martinrode, I, 628.
Marvao, I, 344.
Marvejols, I, 209; — II, 515.
Maryborough, II, 727, 971.
Maryland, II, 90 et 91.
Marysville, II, 264.
Masaloni, II, 770, 772, 776.
Mas-Chabert, I, 209.
Mas de Beaugis, II, 436.
Mas d'Etzas, II, 433.
Mashonaland, II, 955.
Mas-la-Combe, II, 436.
Massachusets, I, 605; — II, 177.
Massiac, II, 196 à .
Mas-Rigal, II, 433, 435.
Matabeland, II, 955, 959.
Mataderia, II, 830.
Mataussias, I, 170.
Mathilde, II, 164 et 165.
Matra (chaine de), II, 930.
Matto Dentro, II, 941.
Matura, I, 48; — II, 464.
Maubach, II, 656.
Maudesse, II, 433, 435.
Maupville, II, 721.
Mawddach (riv.), II, 907.
Maxbruch, I, 542.
Maxeville, I, 782.
Maxos (riv.), II, 947.
Mayen, II, 412, 522.
Mayenne, I, 230, 546.
Mazarron, II, 557 à 559.
Mazenay, I, 532, 774 à 777; — II, 95.
Mechernich, II, 522, 653, 656.
Medio (sierra de), I, 690.
Medja-Rassoul, I, 728.
Medjnorondiansk, I, 248, 668 à 670; — II, 245, 247 à 251.
Megara (vallée de), I, 413.
Meigs, I, 91.
Meissen, I, 615.
Mejicana, II, 832.
Melon (le), II, 845.
Melvina, II, 946.
Memel, I, 153.
Menacillo, II, 296.
Menat, I, 197.
Mende, I, 595.
Mendoza, I, 93; — II, 832.
Menildot (le), II, 682.
Menomonie, I, 719 et 720.
Mercadal, II, 437 et 438.
Merced (rio), II, 920.
Mercœur, II, 197 et 198.
Merglon, II, 429 et 430.
Merionet Shire, II, 10, 907,
Merst, II, 520.
Merthyr-Tydril, II, 75.
Merzelet, I, 772 et 773.
Meslovskoï, II, 979.
Mesmont, I, 561.
Messine, I, 267.
Metabief, I, 788.
Metelin (île de), I, 225; — II, 37.
Metz, I, 778.
Metzenseifen, II, 701 et 705.
Meudon, I, 585.
Meurthe-et-Moselle, I, 369, 483 à 487, 561, 777 à 783, 806; — II, 210.
Meurthe (La) (riv.), I, 484.
Meuse, I, 230, 375, 533, 545.
Mexican, II, 805.
Mexico, II, 827.
Mexy, I, 782.
Meymac, II, **161 et 162**.
Mezzenile, II, 65.
Miano, I, 133.
Miask, I, 247, 600; — II, 98, 180, 464, 708 et 709, 903, 978, 998.
Miass (riv.), II, 979, 998.
Michaels mount, II, 117.
Micheville, I, 782.
Michigan, II, 309 à 321.
Midisgani Tron Mountain.
Miclos, I, 290.
Middletown, II, 69.
Miechowitz, II, 456.
Mieres, II, 681 et 682.
Mies, II, 569 à 577.
Miglos, I, 613.
Milagro de Guadalupe, II, 779.
Milan, II, 559.

Milianah, II, 306 et 307.
Millon, I, 754.
Millery, I, 192.
Millsite, II, 809.
Millyeat, I, 755.
Milo (Ile de), I, 284, 607.
Milova, I, 661.
Milston, I, 753.
Minaflorès, II, 550, 778.
Mina Rica, II, 924.
Minas geraes, I, 23 et 24, 239, 938 à 941.
Mine-Leduc, I, 227.
Minera, II, 417.
Mineral City, II, 568.
Mineral Hill, II, 90 et 91.
Mineral point, II, 623 et 624.
Minnesota, II, 98, 316.
Minusinsk, II, 978, 981.
Mioche, II, 507.
Mirabel, II, 972.
Miragu, I, 741.
Miravilla, I, 790, 794.
Mi sabi iron range, II, 98.
Miserey, I, 482.
Missisquoibay, I, 547.
Mississipi, II, 622 et 623.
Missouri, I, 675 et 676; — II, 31, 69, 91.
Mittchell's Creck, II, 917.
Mittelberg, II, 17.
Mitterberg, II, 275 et 276.
Mobendorf, II, 584.
Moderstollen, II, 786.
Modum, II, 86, 163 et 164.
Moelfre, II, 10.
Mogen, II, 163 et 164.
Mioneshti, I, 116.
Mokta-el-Hadid, I, 721 à 728.
Mokelumne Hill, II, 965.
Moldava, II, 177.
Moldova, I, 661.
Mommel, I, 767.
Moncoustans, II, 518 et 519.
Mondalazac, I, 785.
Mondelisse, II, 173.
Monroe, I, 239; — II, 166.
Montalbo, II, 989.
Montana, II, 166, 263 à 267, 808 à 811.
Montargis, I, 534.
Mont-Asinaio, II, 520 et 522.
Montchabert, II, 520.
Mont-Cruvin, II, 65.
Mont-du-Chat (le), I, 21, 782.
Monte-Amiata, II, 21, 697, 699.
Monte-Auto, II, 203.
Monte-Avanza, II, 698.
Monte-Arrubiu, II, 770.
Montebras, I, 238, 461, 619; — II, 143.
Montebo, II, .
Monte-Calvi, II, 240.
Monte-Catini, II, 236 à 239.
Monte-Cucchedda, II, 397.
Monte-Cuco, I, 690.
Monte-del-Grazie, I, 609.
Montedore, I, 267.
Monte Fate, II, 699.
Montel, II, 197 et 198.
Montellano, I, 587.
Monte Marcenita, I, 269.
Montenarba, II, 83, 770, 775.
Monte-Novo, II, 397.
Monteponi, II, 391, 392, 394, 395, 408 à 405.
Monte-Real, I, 373.
Monteron, I, 118.
Monterotondo, I, 251
Montes-Claros, II, 929.
Monte-Valerio, II, 149 et 150.
Monte-Vecchio, II, 390, 392 à 394.
Mont-Ganelon, I, 534.
Monthermé, I, 231.
Montgros, I, 772.
Montieri, II, 560.
Montignat, II, 193 et 195.
Montigny-sur-Armançon, I, 368.
Mont-Labour, I, 41.
Mont-l'Évêque, I, 534.
Montmartre, I, 564, 585.
Montmorency, I, 534.
Montmorillon, I, 614.
Montpellier, II, 683.
Montréal, I, 755 et 756.
Mont-Rose, II, 905.
Mont-Saint-Martin, I, 782.
Mont-Saint-Michel, I, 238.
Mont-Weinsberg, I, 561.
Mora, I, 791, 793.
Morato, I, 690 .
Moravicza, I, 661 et 662; — II, 258 et 259.
Moravie, I, 45, 155, 238.
Morbihan, I, 49, 738; — II, 136 à 142.
Mord-grübe, II, 587.
Morée, II, 242.
Morelos, II, 827.
Morena, I, 289.
Morenos, I, 796.
Moresnet, II, 417, 420, 421, 524 et 525.
Morgenstern, II, 587, 594.
Mornington County, II, 156 et 157.
Mornsheimbruch, I, 542.
Moro (el), I, 790, 794.
Morococa, II, 164 et 165.
Morohova, I, 741.
Morro Velho, II, 939 et 940.
Morsbach, II, 522.
Mortain, I, 738.
Morte (mer), I, 161.
Moscou, I, 387.
Mosquitorange, II, 638.
Mother Lode (Californie), II, 919, 923, 924.
Motte (la), II, 69, 91.
Moulaine, I, 782.
Moulton, II, 266, 808 et 809.
Mounsell, I, 716.
Mountain Lion, II, 946.
Mountain view, II, 265.
Mount ophir, II, 922.
Mount pleasant, II, 924.
Mouriès, I, 595 et 596.
Mourne mountains, I, 238.
Moutiers, I, 562.
Mouzaïa, II, 306 et 307.
Moyeuvre, I, 778.
Mozzo, I, 595, 603.
Mtsa, I, 361.
Mucumayo, II, 929.
Mudgee, II, 917, 971.
Mulde (la), II, 587.
Munga (baie de), II, 201.
Mungapet, II.
Muglia, I, 267, 271.
Muhldorf, I, 45.
Mülheim, II, 415, 522.
Mungapet, II, 982.
Munster, II, 427.
Murajnaia, II, 981.
Murcie, I, 283, 690 à 693; — II, 550 à 559.
Mursiask, I, 248.
Mursinka, I, 238.
Mürtschenalp, II, 277.
Muso, I, 241.
Musen, I, 694; — II, 71.
Muygrube, II, 287, 290.
Myslowitz, I, 765 et 766, 769.
Mysore, II, 982.
Myvatu (lac), I, 265.

N

Naakerud, II, 63.
Nades, II, 194.

Nagyag, I, 302; — II, 210, 525, 930, 931.
Nagybanya, II, 930, 931, **934**, 935, 936.
Nakety, II, 54 à 56.
Naltagua, II, 845, 947 et 948.
Nancagua, II, 927.
Nancy, I, 484 et 485, 778 et 779, 782.
Naples, I, 282, 607.
Narali (monts), II, 998.
Narkizofsky, II, 980.
Nassau, I, 362 à 365; — II, 27, 71, 256 et 257, 522.
Nassereit, II, 424.
Natakoo, II, 984.
Naulle, I, 237.
Naundorf, II, 127, 136.
Nauzenbach, II, 71.
Naxos, I, 546, 595, 605.
Nebida, II, 392, 398 à 400.
Nebi-Mussa, I, 173.
Nebraska, II, 969.
Negaunee, I, 719 et 720.
Nelson, II, 919.
Nemli, I, 575.
Nepal, II, 90.
Nepoulas, II, 173.
Nerim, II, 417.
Nerstschinsk, I, 225, 238; — II, 562, 708 et 709, 978, 981.
Nestosa (la), II, 437 et 438.
Neuchâtel, I, 210.
Neufchâteau, I, 369.
Neumark, II, 696.
Neustättel, II, 71.
Neuthead, II, 417.
Neuvillette, I, 546.
Neuvisy, I, 788.
Neuvy-Saint-Sépulchre, I, 371.
Neuwier, II, 521.
Nevada (sierra), II, 305 et 306, 977.
Nevada County, II, 920, 924, 962.
Nevada (état), I, 92, 476, 524; — II, 91, 626, 721.
Neviano dei Rossi, I, 434.
New-Almaden, II, 59, 711, 718 et 719, 721.
Newborough, I, 700.
Newcastle, I, 489.
New-Hampshire, II, 91, 171, 953.
New-Idria, II, 711, 721.
New-Jersey, I, 701; — II, 91, 177, 257 et 258.
New-Mexico, I, 49.
New-Parkside, I, 758.
New-Providence, I, 654.
New-York, I, 45, 700; — II, 98, 177, 563.
New-York-Hill, II, 925.
Niblinto, II, 928.
Nichapour, I, 411.
Nicosia, I, 267.
Nieder-Radoschau, I, 765 à 766.
Nieder-Regensdorf, II, 71.
Nieves, II, 822.
Nièvre, I, 533, 559, 785; — II, 16, 517.
Niger (fl.), II, 984.
Niggerhill, II, 147.
Nijni-Novgorod, I, 361, 386, 475, 666.
Nijni-Taguilsk, I, 667, 245, 247.
Nijni-Tongowsk, I, 49; — II, 90.
Nikitoffka, II, 707.
Niort, I, 373, 533.
Nisam, I, 29.
Norskilen, I, 658.
Nogent, I, 784.
Nogueirinha, I, 728 et 729.
Noiba (riv.), II, 980.
Noire (mer), I, 94.
Nonesuch, II, 314, 317.
Noraigue, I, 213.
Norberg, I, 703, 707, 708 à 712.
Norcrosse, II, 805.
Nord, I, 389, 545.
Nordfjord, I, 705.
Nordmark, I, 703, 708.
Noria de Angelès, II, 822.
Norköping, II, 210.
Normanby, II, 917.
Norrbothnie, I, 702.
North Bloomfield, II, 969.
North San Juan, II, 969.
North Star, II, 807 et 808.
North Star mine, I, 339.
North Wales, I, 360; — II, 13, 1001.
Northwich, I, 490, 494, 495.
North western, II, 312.
Norvège, I, 171, 226, 289, 329, 657 à 659; — II, 40, 62 à 65, 86, 98, 163 et 164, 176, 180, 210, 272, 287 à 295, 464, 707, 755 à 768, 909.
Notez, II, 681.
Nottinghamshire, I, 563.
Notre-Dame-des-Eaux, I, 566.
Notre-Dame-de-Laval, I, 772; — II, 514 et 515.
Nouméa, II, 49, 58.
Nouvelle-Ecosse (U. S.), II, 953.
Nouvelle-Galles du Sud, II, 156 et 157, 167, 174, 201, 727, 833 à 837, 913, 914, 916, 971.
Novagora, II, 452.
Novaïa-Roussa, I, 475.
Novare, II, 65.
Novoousolié, I, 478.
Nowgorod (voir *Nijni-Novgorod*).
Nucic, I, 743.
Nuestra Senora del Carmen, II, 535 et 536.
Nueva Providencia, II, 898.
Nuncaballo, II, 254.
Nurra (la), II, 390.
Nyang, I, 703.
Nyköping, II, 210.
Ny Solskinsgrube, II, 287.

O

Oathill, II, 717.
Oberau, II, 585.
Oberdorf, I, 574.
Obergruna, II, 587, 597.
Obernoff, II, 523.
Oberschlema, II, 603.
Oberstein, I, 224.
Oberwiesenthal, II, 598.
Ocala, I, 407.
Occhia, II, 683.
Oddegarden, I, 329.
Odelmark, II, 87.
Odessa, I, 740.
Œlheim, I, 138
Offenbanya, I, 302; — II, 258 et 259, 525, 931, 936, 947 à 949.
Ogne (riv.), II, 980.
Ogliostro, II, 390, 769.
Ohio, I, 56, 91, 476.
Oil Creek, I, 75.
Oise, I, 534, 614.
Ojo Caliante, II, 822.
Oker, II, 577.
Okhtarsk, I, 520.
Olah-Lapos-Banya, II, 930, 936.
Old Dominion, II, 262 et 263.

Old de Beers, I, 11.
Old end, II, 614 à 618.
Old Huel Vivian, II, 124.
Old Hewas mine, II, 124.
Old Telegraph, II, 564, 565, 567.
Old Ygra, II, 908.
Olekma (riv.), II, 978.
Olekminsk, II, 981.
Olette, I, 676.
Oliphant (riv.), II, 90.
Ollargen, I, 790, 794, 796.
Olpe, II, 71.
Olsa, I, 747.
Oltro il colle, II, 426.
Olux, I, 290.
Omapere (lac), II, 727.
Omberanza, II, 74 et 75.
Ombrie, I, 568.
Oneta, II, 426.
Ontario, I, 339; — II, 60 à 62.
Oodeypoore, II, 69.
Ophir, II, 795, 796, 797, 805.
Oporto, II, 188.
O'Quirrh (monts), II, 564.
Oran (province d'), I, 48, 521, 815.
Oran, I, 48.
Orange (Etat libre d'), I, 17.
Oravicza, I, 661; — II, 86, 258 et 259.
Orbagnoux, I, 182.
Orco (riv.), II, 975.
Orconera, I, 791, 793, 794.
Orebro, I, 702; — II, 87.
Oregon, II, 59, 807 et 808.
Orenbourg, I, 239; — II, 327 et 328, 978.
Orense, II, 145.
Orglandes (Cotentin), I, 401.
Orléans (C.-S.), II, 924.
Orne, I, 230, 533, 738.
Ornontawitz, I, 765 et 766.
Orsova, II, 38 et 39.
Oruro, II, 150, 165 et 166, 462, 851.
Orville, I, 391.
Orzerze, I, 765 et 766.
Osceola, II, 312.
Osnabruck, I, 768; — II, 427.
Otago, II, 919.
Otchouevsk, I, 520.
Othens, I, 91.
Otonayon, II, 312.
Ottange, I, 778.
Ottawa County, I, 339.
Ottershagen, II, 522.
Otto shorgan, II, 522.
Ouche, II, 196.
Oudon (l'), I, 733.
Oued Bouman, I, 242.
Ougney, I, 785.
Ouli (riv.), II, 982.
Oural, I, 238, 246 à 248, 600, 603, 614, 664 à 671; — II, 39 et 40, 59, 69, 83, 90, 98, 245 à 252, 327 et 328, 464, 902 à 904, 978, 995, 998, 1002.
Ouray, II, 166.
Ouro-Preto, I, 239; — II, 727, 940.
Ousolié, I, 478.
Ousk, I, 475.
Overath, II, 415.
Overberg, II, 761, 765.
Overmeier, II, 427.]
Oviedo, II, 210.
Ovifak, I, 653.
Oxford (Canada), II, 62.
Ozano, I, 133.

P

Paccha, II, 830.
Pachuca, II, 825.
Pactolus mine, II, 969.
Padstow, II, 200.
Palaiseau, I, 534.
Palas (Cap), I, 690.
Palatinat, I, 224; — II, 521.
Palazuelos, II, 532, 535 et 536.
Palerme, I, 267.
Palisade, II, 626.
Pallanza, II, 559.
Pallières (les), II, 433.
Palmer, II, 917.
Palmerston, I, 236.
Palmesalade I, 766.
Palpaico, II, 845.
Pampa Larga, II, 845.
Panama, II, 724, 912.
Panish, II, 953.
Panna, I, 29.
Panuco, II, 824.
Panulcillo, II, 253.
Paposo, II, 253.
Parad II 930.
Paradeisberg, II, 785.
Paragonclain, II, 964.
Parayd 505 et 506.
Parazuelos, I, 690 à 692.
Paris, I, 563 et 565.
Park (Lancashire), I, 761; — II, 568.
Park (Colorado), II, 568.
Park-of-Mine, II, 123.
Parkrange, II, 640.
Parkside, I, 754, 756.
Parme, I, 134.
Parone, II, 66.
Paros, I, 546.
Parral, II, 254.
Parrott, II, 265.
Parry, II, 939 et 940.
Paschietto, II, 83.
Pascual, II, 826 et 827.
Pas-de-Calais, I, 376, 391, 536, 545, 788.
Passagem, II, 939 et 940.
Passau, I, 45.
Pas-trop-tôt, II, 988.
Patapsco, II, 90 et 91.
Patarcocha, II, 830.
Paterno, II, 520 et 521, 703.
Paulhaguet, II, 515 et 516.
Paulus, I, 662.
Paunières, II, 682.
Paura, I, 609.
Paz (la), II, 328 et 329, 851.
Pearsons Venture, II, 617.
Pechelbronn, I, 138.
Peckshill, I, 701.
Pellwood, II, 836.
Peña (la), II, 296.
Penaroya, II, 550.
Pendaré, I, 349.
Pendjab, I, 475, 500.
Pennington Cr, II, 147.
Pennsburg, I, 654.
Penrhyn, I, 236.
Pensylvanie, I, 56, 75, 587, 654, 701, 745 et 746; — II, 69, 462.
Pentélique, I, 546.
Penzance, II, 117.
Perak, II, 148 et 149, 152, 153, 155.
Peralba, II, 698.
Perd' Arba, II, 775.
Perdixeddosu, II, 392.
Perekop, I, 520.
Pereilhes, I, 595.
Pereta, II, 203.
Perm, I, 478; — II, 327 et 328.
Pernes, I, 389.
Persberg, I, 703, 707, 708, 713.
Persévérance, II, 120.
Pershytte, I, 708.
Perth (comté de), I, 339.
Pesey, II, 520.
Pestarena, II, 904 à 907, 974.

Petai-Chabang-Pernibilan, II, 148 et 149.
Petschernoï, II, 979.
Peyrat, II, 682.
Peyraz, I, 50.
Pfundererberg, II, 525.
Philippeville, I, 546; — II, 417, 420.
Philippsbourg, II, 264.
Phœnix, II, 953.
Pianto dei Monachi, I, 134.
Pian Castagnaio, II, 699, 702.
Picardie, I, 606.
Picos de Europa, II, 437 et 438.
Pickaranta, II, 98.
Piémart (mont), II, 429.
Piémont, I, 595, 603, 657, 671 à 673; — II, 9 et 10, 65 à 67, 83, 177, 904 à 907, 974 et 975.
Pierre et Paul, I, 663.
Pierrefite, II, 463, 518.
Pierre-Morte, I, 788.
Pietralba, II, 520 et 521.
Pilkin, I, 46.
Piney (monts). II, 59.
Pinheiro, I, 41.
Pinousse (la), I, 681 et 682.
Piriac, II, 157.
Piru-Rome, II, 410.
Pistan, I, 45.
Pittanguy, II, 941.
Pithole and Cashup, I, 75.
Pittsburg (Pens.), I, 56.
Pittsburg (Cal.), II, 925.
Placer County, II, 37 et 38, 920, 924, 962.
Plantorenz, II, 74 et 75.
Planu-Dentis, II, 409 et 410.
Planu-Sartu, II, 405 et 406.
Platsberg, I, 230.
Plateau central, II, 172 et 173, 193 à 195, 514 à 517, 972.
Platten, II, 128.
Plojesti, I 502.
Plumas County, II, 925, 926.
Pô (le), II, 975.
Pöbel, II, 128.
Poderosa (la), II, 296.
Podolie, I, 361, 387.
Pohal, I, 517.
Poitiers, I, 614.
Poisot (le), I, 192.
Polewsk, I, 246, 251.
Pologne, I, 284, 768 à 771.
Pomoy, I, 370.
Pont-de-Saint-Phlin, I, 486.
Pont-du-Château, I, 208.
Ponte alle Lecchia, II, 241 et 242.
Ponte di Nossa, II, 426.
Pontgibaud, II, **506 à 509**.
Pontpéan, II, 498 à 504.
Pont-Saint-Vincent, I, 782.
Popocatepelt, I, 263.
Porotos, II, 254.
Porsignan, I, 682.
Port Pirée, II, 834.
Portage, II, 312, 315, 316.
Portalyre, I, 344,
Porte de France, I, 534.
Portes de fer, I, 505.
Portieux, I, 486.
Porto Mandalo, I, 215.
Port-Piré, II, 834.
Posa, I, 499.
Potchefstromm, II, 956.
Potocnig, II, 695.
Potosi, II, 849 à 851.
Pottineur (le), II, 989.
Pouech (le), II, 518 et 519.
Pougues, I, 533.
Pouilly-en-Montagne, I, 536.
Pouilly-les-Vignes, I, 482.
Poujet, I, 367.
Poullaouen, II, 505 et 506.
Poulo Pinang, II, 152.
Pozo Ancho, II, 538.
Pradal, I, 515.
Prades, I, 681 et 682, 685.
Prahowa (la) (riv.), I, 502.
Pranal, II, 507 et 508.
Prata, II, 199 et 200.
Pratiglione, II, 907.
Premalos, II, 426.
Pretoria, II, 955.
Prigne (la), II, 242 à 244.
Prince-de-Galles, II,
Prisren, II, 706.
Privas, I, 786 et 787.
Prokopi, II, 163.
Prospect mountain, II, 626, 628, 630.
Providencia, II, 74, 826 et 827.
Providenza, I, 609.
Prozor, II, 307 et 308, 705.
Prugne (La), II, 242, 244.
Prusse, I, 50, 546, 587.
Prusse rhénane, I, 695, 750; — II, 412 à 416, 463, 522, 523,
Przibram, II, 86, 177, 180, 200, **569 à 577**.
Pskow, I, 375.
Puerto Cortès, II, 942.
Pumpsant, II, 907.
Pulacayo, II, 851 et 852.
Punita, II, 726,
Punitaque, II, 253.
Puno, II, 726.
Punta Blanca, I, 812.
Punta de Araya, I, 145.
Punta negra, I, 422, 812.
Puquios, II, 254.
Purro, II, 829.
Puy-de-Dôme, I, 197, 208, 607; — II, 506 à 509.
Puy-de-Juillat, I, 619.
Puy-les-Vignes, II, 172 et 173.
Puymorens, I, 679, 681.
Py, I, 676.
Pyrénées, I, 41; — II, 74, 972.
Pyrénées-Orientales, 676 à 685.

Q

Québec, I, 57, 90, 227, 228, 339.
Quebradilla, II, 823.
Queensland, II, 156 et 157, 166, 174, 727, 914 à 917, 971.
Quen (île de), I, 226.
Quereta, II, 236, 697, 699.
Queretaro, I, 225.
Quercy, I, 349 à 356.
Queylou, I, 625.
Quiaios (côte), I, 587.
Quinientos (los), II, 538.
Quincy, II, 312.
Quintus, I, 738.
Quiroga, II, 254.

R

Rabenstein, II, 619.
Racalmuto, I, 267, 270, 272, 275.
Radowenz, II, 328.
Ragusa, I, 214.
Raibl, II, 424 à 427, 463, 525, 621.
Rajputana, II, 70, 90.
Rakonitz, I, 196.
Rallingsberg, I, 703.
Rambouillet, I, 534.
Rammelsberg, II, 323 à 326, 577, 582, 587.
Ramsay (mont), II, 167.

Ramrée, I, 143.
Rancagna, II, 254.
Rancié, I, 676, 677, 685.
Randapali, I, 29.
Randolff, II, 953.
Rapel, II, 254.
R'arbou, II, 438 et 439.
Ras-el-ma, II, 683 et 684.
Rathhausberg, II, 909.
Ratnapura, I, 48.
Ratons (chaîne des), II, 1001.
Ranenthal, II, 782.
Ravelon, I, 192.
Ravenswood, II, 914.
Ravaz, II, 825.
Real del monte, II, 825.
Recuay, II, 854 et 855.
Redington, II, 711, 716 et 717.
Red Cloud, II, 568.
Redon, I, 230.
Redonda (île de), I, 410.
Redruth, II, 112 à 127, 172, 180.
Reichenstein, I, 663, 748.
Reigate, I, 614.
Remolinos, II, 254.
Renazé, I, 230.
Reocin, II, 437 et 438.
Republican, II, 567.
Rescheid, II, 522.
Reutlingen, I, 197.
Revere mine, II, 565.
Revest (le), I, 597.
Rewdansk, II, 59, 83.
Reykjalid, I, 264.
Resbanya, I, 587, 661; — II, 163, 177, 180, 258 et 259, 525, 930.
Rhang-el-Melah, I, 497.
Rhin, II, 972, 973.
Rhinau, II, 973, 974
Rhode Island, I, 46.
Rhodes marsh, I, 255.
Rhône, I, 291, 293; — II, 177.
Rhône (fl.), II, 972.
Rhyl, II, 76, 88 à 90.
Riam Kanan, II, 1001.
Riam Kivu, II, 1001.
Richmond C°, II, 631, 636.
Riechelsdorf, II, 85.
Riesengebirge, II, 71.
Rika, II, 979.
Rikuchu, II, 833.
Rikusen, II, 710.
Rimnik, I, 116.
Rimogne, I, 231.
Rimont, I, 581; — II, 12.
Rinconada, II, 727.
Ringérike, II, 63.
Rio, I, 809 à 814.
Rio Albano, I, 809, 810, 811, 814.
Riochagres, II, 912.
Rio Cuyuni, II, 898.
Rio Duerna, II, 975 et 976.
Rio-et-Vigneria, I, 811 et 812.
Rioja, II, 69, 90, 832.
Rio Loa, I, 422.
Rio Lombigo, II, 984 et 985.
Riondello, I, 671.
Rio Obispo, II, 912.
Rio San Matteo, I, 240.
Rio Sil, II, 975 et 976.
Rio Tinto, II, 296, 299, 300, 302.
Ripa, II, 699.
Risingstar, II, 266, 808.
Ritchie, I, 170.
Riu-Ollastu, II, 775.
Rivarossa, II, 975.
Rivière, II, 848.
Roanhead, I, 761.
Rocca Tederighi, II, 236, 239 et 240.
Rochusberg, I, 768.
Roczk, I, 124.
Rodeito, II, 845.
Rodna, II, 258 et 259, 947, 949.
Rohnard, II, 71.
Romagne, I, 282.
Romana (la), II, 549.
Romanche (Vallée de la), II, 277.
Romanèche, II, 13 à 16.
Romani, I, 609.
Romano (Val), I, 134.
Rome, I, 135, 264, 282, 471, 607 à 612.
Romme, I, 708.
Romsdal, I, 706.
Ronaszk, I, 507 et 508.
Ronsas, II, 65.
Roques nègres, I, 682.
Röraas, I, 705; — II, 40, 287 à 291.
Rörobücht, II, 275 et 276.
Rosbach, II, 522.
Rose (mont), II, 255, 905.
Rosenbeck, II, 415.
Rosario, II, 826.
Rosenau, II, 98.
Rosières-sur-Salines, I, 486.
Rosillos, II, 844.
Rosilla, II, 845.
Roslawl, I, 382.
Rossie, II, 563.
Roswein, II, 587, 588, 597.
Rotella, I, 609.
Rovigo, I, 567.
Rouet (le), I, 585 à 587.
Rougé, I, 733.
Rousson, II, 433.
Rouvergue (le) II, 514 et 515.
Royale (Ile), 312.
Roys (les), I, 207.
Rozena, I, 238.
Roziers, II, 507.
Ruby Hill, II, 626, 628, 630.
Ruda, I, 765 et 766,
Rudnik, I, 661.
Ruet (le), I, 192.
Ruhr (bassin de la), I, 367, 763 et 764.
Rumpelsberg, II, 17.
Rundazlava, I, 670.
Russ, I, 546.
Russauge, I, 806.
Rymnick-Sarat, I, 503.

S

Saarbruck (bassin de), I, 765, 767.
Sabbia (val), II, 273 à 275.
Sablé, I, 546.
Sablonnière (la) I, 486.
Sabountelin, I, 96 et 97.
Sacramento, II, 845, 920, 924.
Sado (île de), II, 832.
Saffragan, II, 464.
Sagmyra, II, 63 et 64.
Sago, II, 983.
Sahorre, I, 682, 685.
Saillancourt, I, 534.
Sain Bel, I, 293.
Sainte-Agnès, I, 238.
Saint-Amand, I, 532.
Saint-Andreasberg, II, 577, 578, 584, 610.
Sainte-Anna, II, 695.
Sainte-Anne (Cordillère), II, 910.
Saint-Antonin, I, 349.
Saint-Antoine, I, 614, 621 et 622.
Saint-Aubin, I, 212.
Saint-Austell, II, 113, 116, 123.
Saint-Avold, II, 345, 655, 656 et 657.
Saint-Barthélemy (mine), I, 141 et 232.

Saint-Beat, I, 546.
Saint-Bees, I, 753.
Saint-Blasien, II, 68, 522.
Saint-Bonnet, I, 621.
Sainte-Brigide, I, 738.
Saint-Cassian, I, 478, 479, 480.
Saint-Chinian, I, 597.
Saint-Cierge, II, 429.
Saint-Colomb, II, 123.
Sainte-Colombe, I, 50.
Saint-Crépin, I, 546,
Saint-Elie II, 978 et 979.
Saint-Etienne, I, 766.
Saint-Etienne-de-Baigory, II, 277.
Saint-Etienne-de-Pomers, I, 676.
Saint-Félix-des-Lallières, II, 433.
Saint-Florent, I, 772 ; II, 432.
Saint-Florent-sur-Cher, I, 804.
Saint-Forgeot, I, 192.
Saint-Georges-d'Hurtières, I, **694 et 695**.
Saint-George-le-Gaultier, I, 230.
Saint-Goarhausen, II, 522.
Saint-Gothard, I, 223, 229, 603; — II, 98.
Saint-Guillaume, II, 782.
Saint-Herent, I, 595.
Saint-Hilaire, I, 195.
Saint-Jacques, I, 534; — II, 782.
Saint-Jean-de-Cour, I, 349.
Saint-Jean-de-Marvejols, I, 209.
Saint-Johann, II, 522.
Saint-Jost, II, 522.
Saint-Julien, II, 432.
Saint-Julien-de-Valgagues, I, 296.
Saint-Kew, II, 200.
Saint-Laurent, I, 486.
Saint-Laurent-le-Minier, II, 429, 431 à 433.
Sainte-Laurence (County), II, 563.
Saint-Léger-du-Bois, I, 191.
Saint-Léger-sur-Dheune, I, 562.
Saint-Léon, I, 744.
Saint-Léonard, I, 230; — 144, 172 et 173.
Saint-Lô, I, 230.
Saint-Louis, II, 782.
Saint-Marcel, II, 9 et 10, 907.
Sainte-Marie, II, 210.
Sainte-Marie-aux-Mines II, 782.
Saint-Martin-de-Villalonga, II, 201.
Saint-Maxent, I, 371.
Saint-Michel-Archange, II, 246.
Saint-Nicolas, II, 521.
Saint-Nicolas-de-Varangéville, I, 484 et 486.
Saint-Ouen, I, 534, 563.
Saint-Pancré, I, 779, 806.
Saint-Paul-Trois-Châteaux, I, 375.
Saint-Paterne, I, 390.
Saint-Pétersbourg, I, 361.
Saint-Pierre-de-Bœuf, II, 972.
Saint-Priest, I, 784.
Saint-Roman, I, 730.
Saint-Remy, I, 737 et 738.
Saint-Thomas, II, 929.
Saint-Tilrich, II, 521 et 522.
Saint-Ulrich, II, 521.
Saint-Valdrée, I, 486.
Sainte-Valerie, I, 622.
Saint-Victor, I, 536.
Sainte-Ylie, I, 533.
Saint-Vrieix, I, 620; — II, 195.
Sakamody, II, 438 et 439.
Sala, II, 200, **611** à **614**, 707.
Salamanque, II, 146.
Salais, II, 562.
Salat, II, 972.
Saligny, II, 16.
Salindres, II, 433.
Salisdorsf, II, 136.
Salles, I, 738.
Salobro, I, 24.
Salidos (los), II, 533, 539.
Salina, I, 91, 476.
Salins, I, 560.
Salso Maggiore, I, 133.
Saltranges, I, 475.
Salzbourg, I, 747; — II, 74, 200, 909.
Salzkammergut, I, 478, 480, 481.
Samarang, II, 710.
Samarskaïalonka, I, 285.
Sambalpur, I, 29.
Samland, I, 153.
Sampans, I, 533.
San Andrès, II, 305 et 306.
San Antonio, II, 254.
San Antonio del Povero grande, II, 164.
Sanarka (riv.), I, 239.
Sanarsk, I, 248.
San Augustin, II, 821.
San Barnabé, II, 824 et 825.
San Benedetto, II, 391, 392, 396 et 397.
San Benigno (I), II, 975.
San Benito, II, 74, 721.
San Bernardino (U.-S.), I, 254.
Sandia, II, 929.
San Dimas, II, 926.
San Domingos, II, 296, 300, 301, 302, 100.
Sandy, I, 378.
San Esteban, II, 828.
San Felipe, II, 845.
San Francisco (M), II, 827 et 828.
San Francisco Peregrina, II, 828.
Sangara, II, 984.
Sangerhausen, II, 71, 85.
San Giovanello, I, 274.
San Giovanni, II, 392, 394 à 396, 399.
San Giuliano, II, 699.
San Ildefonso, II, 539.
San Isidoro, II, 146.
San Joao de Barra, II, 941.
San José, II, 537.
San Juan, II, 253, 568, 926.
San Juan de Rayas, II, 926.
San Lawrence, II, 924.
San Lorenzo, I, 794; — II, 254.
San Luiz de Eucanto, II, 724.
San Luiz de Potosi (M), II, 724.
San Luiz de Potosi (*P*), II, 50.
San Luis Obispo, II, 37 et 38.
San Miguel, I, 794; — II, 145, 296, 535, 536.
San Miguel (M.), II, 823.
Sannois, I, 564.
Sanon (Le), I, 484.
San'Onofrio, II, 722.
Sanok, I, 124.
San Pablo, II, 911.
San Patrick, II, 924.
San Pedro, II, 74.
San Pietro (île de), II, 25 et 26.
San Salvadore, II, 699.

675, 765 et 766, 768 à 775; — II, 30, 272 et 273, 449 à 460, 462.
Siljan (lac), II, 64.
Silver city, II, 797.
Silvercity, II, 797.
Silverton, II, 568, 833.
Simon-Judas, I, 663.
Sinaï, I, 413.
Sinabba, II, 723 et 724.
Singalang, II, 983.
Singdhum, II, 982.
Singhana, II, 90.
Sinnamary (le), II, 986 et 989.
Sisertsk, I, 246.
Sisima (val), II, 273 à 275.
Sisran, I, 215.
Skien, II, 63.
Skimarang, I, 703.
Skonga, II, 692 et 693.
Skrikerum, II, 463.
Skutterud, II, 63, 86, 102.
Slanik, I, 502 et 503.
Sloboda, I, 124.
Smaland, II, 64.
Smalene, II, 64.
Smartsville, II, 925, 968 et 969.
Smeinogorsk, II, 562.
Smith's Iron Mountain, I, 719 et 720.
Smolensk, I, 382 à 386.
Smyrne, I, 605; — II, 201, 708.
Snow Point, II, 969.
Soanna (riv.), II, 975.
Soberhaggen, I, 748.
Socorro, II, 537.
Sok (riv), I, 285.
Solenhofen, I, **539 à 542**.
Solenhofensbruche, I, 541.
Solikamsk, I, 478.
Solitaria, II, 69, 90.
Solontz, I, 119.
Solovsaia, II, 997.
Solsie, II, 924.
Sommatino, I, 267, 271.
Somme, I, 391, 606.
Sommervillier, I, 486.
Somorrostro, I, 790, 794.
Söndre-Gudbransdal, II, 63.
Sonora, I, 46; — II, 202, 818 à 821, 965.
Sorba (val), II, 66.
Sorofane, I, 264.
Sorota, II, 165 et 166.
Sosnowice, II, 458.
Souabe, I, 371.
Soudan, II, 984.
Soukharas, I, 403.
Soulier (le), I, 297.
Soultz-Sous-Foret, I, 138.
Soungi-Kreau, II, 154.
Soungi-Slim, II, 154.
Soupayang, II, 983.
Sourakhani, I, 96.
Southampton (U.-S.), II, 177.
South Carn Brea, II, 120.
South Cliffe, II, 312.
South Condurrow, II, 120, 121.
Southern district, II, 971.
South Francès, II, 119.
South Park, II, 638.
South Tolcarne, II, 119.
Soyons, I, 299, 772.
Spanish mine, II, 565.
Sparsk, I, 385.
Spessa, II, 698.
Spotsylvania County, II, 954.
Spreunfontein, II, 960.
Stadtberg, II, 343 et 344.
Stadtberge, II, 437.
Staffordshire, I, 563, 766.
Stahlberg (Thuringe), I, 767.
Stahlberg (Westphalie), I, 694.
Stainton, I, 790.
Stank, I, 760.
Stanislas (riv.), II, 920, 967.
Staraïa-Roussa, I, 475.
Starkenbach, II, 328.
Staromanytch, I, 521.
Starmina, I, 155.
Stassfurt, I, 306, 429 à 460.
Stättberg, II, 63.
Stauring, I, 702 à 719.
Stayton, II, 721.
Steinbach, II, 521.
Sterling, I, 701.
Sterry-Hunt, II, 62.
Sterzing, II, 449.
Steuring, I, 703.
Stohlberg (N), I, 657 à 659, 707.
Stohlberg, II, 522.
Stolberg, II, 418.
Stolbouk, II, 978.
Storvartsgrube (*Röraas*), II, 287, 289.
Strazzena, I, 546.
Stretensk, I, 248.
Striberg, I, 703.
Stripa, I, 708.
Stuttgard, I, 483.
Styrie, I, 574, 614, 747 à 749; — II, 40, 72 à 74, 83 et 85.
Suckerflatt, II, 925.
Sudbury, II, 60 à 62.
Suède, I, 171, 606 et 607, 656, 702 à 719; — II, 63 et 64, 87, 163, 176, 181, 200, 210, 282 à 287, 440 à 448, 463 et 464, 611 à 614, 707.
Suffolk, I, 379, 400.
Sukeevo, I, 285.
Sukhodoïsk, II, 246.
Sulphur-Bank, II, 711, 714 à 716.
Sultan-Tchair, I, 256 et CXI.
Sultepec, II, 826.
Sulzbach, II, 162.
Sumatra, II, 152, 710.
Summit, II, 568.
Supérieur (lac), I, 719 et 720; II, 309 à 321.
Surmoulin, I, 192.
Sussex, I, 373, 563.
Sûsukowa, I, 248.
Svappavara, I, 702, 707.
Svartberg, I, 703.
Svensk, II, 87.
Swojanow, I, 45.
Swazieland, II, 959.
Syra, I, 546.
Syracuse, I, 476.
Szamos (riv.), II, 949.
Szaszka, I, 661.
Szekbaden, I, 528.
Szigeht, I, 505.
Szlena, II, 704 et 705.
Szlatina, I, 507.
Szlovinka, II, 277.
Szukatak, I, 507 et 508.

T

Tabarca, I, 818 à 821.
Taberg, I, 656.
Tacconis, II, 775
Tacuarembo, I, 225; — II, 910 et 911.
Tafna (*la*), I, 722, 815.
Tafone, II, 203.
Taghit, II, 683 et 684.
Tagui, II, 201.
Tain, II, 387 à 412.
Tajima, II, 833.

Takowaia, I, 248.
Talca, II, 254.
Talaia (riv.), II, 981.
Talchir, II, 982.
Taltal, II, 253.
Taman, I, 94, 109 à 116.
Tamane, I, 520.
Tamar Silver Lead, I, 308.
Tamaya, II, 253.
Tambillos, II, 253.
Tambow, I, 385.
Tamburan, II, 201.
Tapada, II, 188.
Tapets (les), I, 285.
Tarapaca, II, 829.
Tarn-et-Garonne, I, 349.
Tarnowitz, I, 769; — II, 451 et 452, 462.
Tarujos, II, 855.
Tasmanie, II, 167.
Tatatila, II, 926.
Tati, II, 959.
Taunichen, I, 749 et 750.
Tauride, I, 742.
Tauringa, I, 682.
Tavistock, II, 172.
Tayaka (riv.), II, 1001.
Taylor, II, 924.
Tazna, II, 150, 165 et 166.
Tchamlouk, II, 345, 347 et 348.
Tcharkow, I, 284.
Tchernoia, I, 738 à 742; — II, 979.
Tchernoïetchenski, II, 979.
Tchernoie Rika, II, 979.
Tchiatoura, II, 17 et 18.
Tegora, II, 710.
Telega, I, 503.
Telemark, II, 272.
Telkibanya, II, 930.
Teliouïne, II, 306 et 307.
Tellurium, II, 166, 954.
Temascaltepec, II, 826.
Temescal, II, 147.
Templeton, I, 339.
Templeton and Blanche River Phosphate C°, I, 389.
Tenez (cap), II, 306 et 307.
Tennesee, I, 745 et 746.
Teplitz, II, 586, 608.
Tenterfield, II, 836.
Terek, I, 94.
Terranera, I, 809 à 812.
Terre-Neuve, II, 217.
Terricio, II, 236.
Terrubias, II, 146.
Teruel, I, 283.
Tels-Marsh, I, 255.
Tetoachi, II, 818 à 821.
Teuterfield, II, 836.
Texas, II, 69.
Thames, II, 919.
Thanus, II
Tharsis, II, 296 à 300.
Thasos, I, 546.
Thelots (les), I, 192.
Theodosie, I, 52.
Theresa, II, 74.
Theresia, II, 456.
Theris, I, 566.
Thetford, I, 228.
Theux, I, 289.
Thihuthal, II, 705.
Thio, II, 52, 54, 55.
Thizy, I, 533.
Thorda, I, 505 et 506.
Thorrent, I, 682, 685.
Thostes, I, 774.
Thotmat, I, 477.
Thouars, I, 371, 533.
Thuringe, I, 628, 767; — II, 17, 85, 522, 585.
Thuringerwald, I, 767; — II, 17, 85.
Ticonderoga, I, 45.
Tidioute and Fagundus, I, 75.
Tiflis, I, 94; — II, 22, 346, 348.
Tigre, II, 832.
Tilkerode, II, 463.
Tillberga, I, 708.
Timbuctow, II, 925.
Tingo, II, 830.
Tinoco, II, 939.
Tirgoviste, I, 118, 503.
Tlalchichilpa, II, 827 à 829.
Tjocchi, II, 203.
Tocco, I, 134.
Tokay, II, 930.
Tokowoia (riv.), I, 240.
Tolfa (*La*), I, 607, 608, 610, 703.
Tolima, II, 724.
Tromblaine, I, 369.
Tomsk, II, 562.
Tongoy, II, 253.
Tongoy, II, 255.
Tonnerre, I, 534.
Topouk, II, 36 et 37.
Toppa (*val*), II, 905 et 906.
Torbane Hill, I, 187.
Torigoi, II, 833.
Toscane, I, 251, 568; — II, 149 et 150, 203, 559 à 561, 699 a 704.
Tost, II, 452.
Touche (La), II, 504.
Toulon, I, 597 et 598.
Toura (riv.), II, 998.
Tour de Baillesse (La), I, 682.
Tour de Batere (*La*), I, 682.
Tourgnon, II, 9 et 10.
Tourinsk, I, 245, 246, 248.
Tourmanche (Val), II, 7 et 10.
Touroukhansk, I, 41.
Tramont, I, 766.
Transvaal, II, 90, 955 à 960, 984.
Transylvanie, I, 505 à 509; — II, 163, 210, 525, 705, 930 à 938, 947 à 949.
Trapani, I, 267, 471.
Travers (Le), I, 772.
Travers (Val), I, 210.
Traverselle, I, 671; — II, 177.
Trebelez, II, 305 et 306.
Trelazé, I, 232.
Tremola (Val), I, 229.
Tres Punctos, II, 90.
Tres Puntas, II, 841 et 845.
Treuil (le), I, 766.
Trevatham, II, 200.
Trèves, II, 522.
Triano, I, 790, 793 à 795.
Trincere, I, 609.
Trinidad (La), II, 882.
Trinidad y Linarejos, II. 539.
Trinita, I, 609.
Trois-Rivières, I, 57.
Troitsk, I, 248.
Tromö, I, 658.
Trompia (*Val*), II, 273 à 275. 559.
Trondjem, I, 705; — II. 287.
Troy, II, 69.
Truro, II, 172.
Truskaiwice, I, 124, 155.
Tscheleken (île), I, 155.
Tschemaka, I, 670,
Tschernaia, I, 741.
Tulle, II, 195.
Tumut, II, 916 et 917. 971.
Tunas, II, 845.
Tunnaberg, II, 87.
Tuolumne County, II, 920, 924, 965.
Tuolumne river, II, 920, 967.

Turez, II, 930.
Turkestan, I, 94; — II, 562.
Tvedestrand, II, 98.
Tyrol, I, 215, 223, 478 à 432, 747 à 749; — II, 275 et 276, 308, 424, 449, 525.
Tzarertschin, I, 285.

U

Ubina, II, 851.
Uderey (riv.), II, 981.
Udias, II, 437 et 438.
Ugo, II, 833.
Underberg, II, 761.
Union (La), II, 556, 829.
Union phosphate mining, I, 339.
Unter-Alba, II, 930.
Untergrombach, II, 428.
Upper Goulburn (Victoria), II, 914.
Urberz, II, 68.
Urpeth, I, 155.
Uspensky, II, 981.
Usseglio, II, 65.
Utah, I, 155, 522 à 524, 614; — II, 166, 563 à 567, 624 et 625, 721, 794.
Utica, II, 268.

V

Vackenbach, I, 546.
Valadon, II, 197 et 198.
Valais, I, 603; — II, 74 et 75, 83, 277.
Val Anzasca, II, 905.
Val Chaudière, II, 953.
Valdemar, II, 266.
Val-de-Peñas, II, 22 à 25.
Val-de-Inferno, II, 532, 539.
Vale, II, 180.
Valenciana, II, 824 et 825.
Val-en-fer (Le), I, 782.
Valfleury, II, 195.
Vallalta, II, 697.
Vallangoujard, I, 534.
Vallenay, I, 533.
Vallorbes, I, 212.
Valmaggia, II, 66.
Valmy, I, 730.
Valparaiso, II, 253.
Valparella, I, 609.
Valtoppa, II, 905 et 903.
Valtournanche, II, 907.
Vandenesse, I, 785.
Vangasha (riv.), II, 980.
Var, I, 285, 367, 597 et 598; — II, 40, 344.
Varado, II, 940.
Varallo, II, 66.
Varangéville, I, 484 et 487.
Varcarello, I, 542 et 543.
Vassagues, II, 436.
Vassy, I, 533.
Vassy-lès-Avallon, I, 536.
Vaubecourt, I, 374.
Vaucluse, I, 285, 613.
Vaulry, II, 142.
Vaux, I, 625.
Vedrin, I, 289.
Vehna, II, 88.
Velher, I, 137.
Vénétie, I, 471; — II, 302 et 303, 697 et 698.
Venise, I, 471.
Vera-Cruz, I, 92; — II, 827.
Verdone, I, 609.
Vermland, I, 702 et 703.
Vermont, II, 69, 953.
Verne, I, 561.
Vernet, I, 682, 685.
Verpillières (la), I, 784.
Versilia (la), II, 560.
Verviers, II, 524 et 525.
Vestmanland (voir Westmanland), I, 702, 703, 708.
Vésuve, I, 607; — II, 703.
Veta Grande, II, 823.
Veta Madre, II, 824.
Veta negra, 826 et 827.
Veta Viscayna, II, 825.
Venzac, I, 784.
Veyras, I, 786 et 787.
Vezza, I, 546.
Vialas, II, 509 à 514.
Viana del Bollo, II, 145.
Vic, I, 485.
Vic-Dessos, I, 290.
Vichorlat-Gutin, II, 930.
Vichy, II, 243.
Victoria, II, 156 et 157, 174, 201, 727, 913 à 916, 970, 971.
Vieille-Montagne, II, 417, 420, 422, 462.
Vienne, I, 533, 614.
Vigra, II, 907.
Vigsnaes, I, 289; — II, 292 à 295.
Vilate (la), I, 240.
Villacanas, I, 745.
Villach, II, 621.
Villasesina, I, 546.
Villebois, I, 784.
Villeder (*la*), II, **136 à 142.**
Villefranche, II, 518.
Ville-Houdlemont, I, 806.
Villeneuve, I, 227.
Villerange, II, 195.
Villers-Cotterets, I, 534.
Villerupt, I, 779, 782.
Villeveyrac, I, 597.
Vinoren, II, 761, 763, 765.
Virdilio (*Solfare*), I, 272.
Virginia, II, 797, 800, 805.
Virginie, I, 170; — II, 11 et 30, 166, 954.
Visegrad, II, 931.
Viseu, I, 48.
Visokaja-Gora, I, **664 à 671**; — II, 247.
Visse (La), II, 433.
Vitrey, I, 370.
Vizakna, I, 505.
Vizé, I, 614.
Vladitchensk, 1, 475.
Vod Hiraddog, II, 76, 88, 89 et 90.
Voigtland, I, 674 et 675.
Vologda, I, 477.
Volterra, I, 251, 568; — II, 699.
Vordernberg, I, 749.
Vorospatak, II, 930, 931, 933.
Vorwohle, I, 138.
Vosges, I, 48, 290, 370, 546.
Voskresensky, II, 981.
Voulte (*la*), I, 786 et 787; — II, 972.
Vulkoy Botes, II, 931, **932.**
Vulkoy Korabia, II, 932.

W

Wady-Sebbeh, I, 172.
Wady-Mahawat, I, 173.
Wahsatch (monts), II, 564.
Waipori, II, 174.
Wakatipu (lac), II, 174.
Waldbroel, II, 522.
Wallace mine, II, 68.
Wallerfangen, II, 655.
Walheim, II, 417.
Walhorn, II, 417.
Warm Springs, II, 31.
Warrens Gulch, II, 147.
Warren and Forest, I, 75.

Warwick, II, 177.
Waschgang, II, 268 et 269.
Washingston, I, 91; — II, 98.
Washington mine (cal.), II, 953.
Washoe, II, 793, 794, 799, 803.
Wasiliewsk, II, 246.
Wassaw, II, 984 et 985.
Wasseralfringen, I, 786.
Wassy, I, 788 et 789.
Water-Blean, I, 754.
Weilburg, I, 362, 750; — II, 27.
Weiss-Andreas, II, 127 à 136.
Weissenfels, I, 186, 628.
Weissig, I, 196.
Weitersberg, II, 522.
Welkenraedt, II, 419.
Wenau, II, 522.
Westland, II, 919.
Westbasset, II, 120 et 121.
Western ghauts, II, 982.
Westerwick, II, 87, 200.
West Francès, II, 120.
Westmanland, I, 702, 703, 708; — II, 200.
Westmoreland, II, 177.
Westphalie, I, 367, 584 et 585, 694, 763 à 765, 767, 762; — II, 71, 162 et 163, 343 et 344, 416 et 417, 427, 437, 463, 522.
Wetzlar, I, 750; — II, 27.
Wheal Basset, II, 119.
Wheal Greenville, II, 119.
Wheal Lovell, II, 119.
Whealrung, II, 112 à 127.
Whitby, I, 50.
Whitehall, II, 954.
Whitehaven, I, 754, 756.
Wickau, I, 674 et 675.
Widemann, II, 577.
Wiederpobel, II, 136.
Wieliczka, I, 505 et 506.
Wiesbaden, II, 416.
Wiesloch, II, 427 et 428.
Williamsmine, II, 622 et 623.
Wildpat, II, 809.
Windich-Kappel, II, 177.
Windschacht, II, 786, 788.
Windstein, II, 422, 521, 525.
Wingartshardt, II, 71, 522.
Wintjenberg, I, 138.
Wipperfurt, II, 522.
Wisconsin, II, 623 et 624.
Wissenbach, II, 324.
Wittemberg, I, 50.
Wittich, II, 522.
Wittichen, II, 162.
Wittkowitz, I, 768 à 771.
Witwatersrand, II, 955 à 960.
Wochein, I, 595.
Wolfsberg, II, 200.
Woodside, II, 924.
Wood's point, II, 913.
Woronège, I, 385.
Wupper (le), II, 415.
Wurtemberg, I, 197, 786.
Wynaad, II, 982.
Wyoming, I, 46; — II, 98.

Y

Yaquil, II, 927.
Yanacancha, II, 830.
Yauli, II, 725.
Yauricoca, II, 830.
Yellow jacket, II, 797, 801, 805.
Yenan-Gyoung, I, 143.
Yenashimo (riv.), II, 980.
Yenisseisk (*riv.*), II, 978, 980.
Yèvre, I, 804.
Yonne, I, 533, 534, 536.
Yorkshire, I, 50.
Ytterby, II, 464.
Yuba County, II, 920, 925.
Yuba (river), II, 920, 967 et 968.
Yuruari, II, 897.

Z

Zabrze, I, 769.
Zacatecas, II, 823 et 824.
Zacualpan, II, 826.
Zaghouan, I, 403.
Zaho, I, 175.
Zahres Chergin, I, 497.
Zahres Rharbi, I, 497.
Zahringen, II, 521.
Zalathna, II, 930, 932, 936.
Zambèse, II, 984.
Zarano, II, 930.
Zarza (*la*), II, 296, 301.
Zarza-la-Major, I, 344.
Zellerfeld, II, 577, 581.
Zell-sur-Moselle, II, 523.
Zendjan, II, 708.
Zerbitzen, II, 74 et 75.
Zimapan, I, 225.
Zinnwald, II, 128, 132, 133, 172, 177, 238.
Zmeoff, II, 562.
Zomelahuacan, II, 926.
Zontpansberg, II, 959.
Zorge, I, 674.
Zorritos, I, 93.
Zschorlau, II, 71.
Zyrianofsk, II, 562.

Cuivre. — **Province d'Alger** : Mouzaïa, Milianah, Tenez; — Bou-Amran, Babor, Téliouïne, II, 306 et 307. — **Province de Constantine** : *Kef-oum-Theboul*, II, 269 à 271.

Emeraudes. **Province d'Alger** : Oued Bouman, près Blidah, I, 242.

Fer. **Province de Constantine** : *Mokta-el-Hadid* (Aïn-Mokra, Kharezas, Bou Hamra), Medja-Rassoul, I, 721 à 728. — **Province d'Oran** : *La Tafna* (Beni-Saf), I, 815.

Graphite. **Province d'Oran**. Environs d'Oran, I, 48.

Gypse. Dublineau, Rovigo, Aïn-Nouissy, I, 567.

Marbre. **Province de Constantine** : Filfila, Aïn-Ouinkel, Philippeville, Bône, Bougie, I, 546.

Mercure. **Province de Constantine** : Taghit; — Bir-Beni-Salah; — Ras-El-Ma, II, 683 et 684.

Phosphates de chaux. **Province de Constantine** : Soukahras, I, 403.

Sel gemme. **Province d'Alger** : *Rhang-el-Melah*, Zahrez-Chergin, Zahrez-Rharbi, I, 497. — **Province d'Oran** : Arren, I, 521.

Zinc. **Province de Constantine** : *Sakamody*, R'arbou, Guerrouma, II, 438 et 439. — Gharbo; — Arbatach; — Sidi-Dayem; — Azeron, II, 439. — *Djebel-Nador*, Hammam n'bails, II, 439.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1846. Burat. — Mines d'Algérie et de Toscane.
1849. Fournel. —Richesse minérale de l'Algérie.
1852. Ville. — Sur les gîtes minéraux de la province d'Oran. (*B. S. G.*, 2e, t. IX, p. 184 et 379).
1856. Ville. — Sur les gîtes minéraux de la province d'Alger. (*B. S. G.*, 2e, t. XIII, p. 399.)
Coquand. — Description géologique de la province de Constantine.
1873. Pomel. — Description du massif de Milianah.
1878. Tissot. — Notice minérale sur le département de Constantine,
1881. Tissot. — Description géologique de la province de Constantine.
1883. Péron. — Description géologique de l'Algérie.
1889. Pouyanne. — Richesses minérales de l'Algérie.
1889. — Notice minéralogique sur l'Algérie par le service des mines.
1892. — Carte géologique provisoire de l'Algérie au $\frac{1}{800\,000}$ (2e édition).

ALLEMAGNE

CARTES INSÉRÉES DANS L'OUVRAGE

Carte géologique (en couleurs) de l'Allemagne centrale. Planche II (à la fin du tome II).

Carte montrant la position des gisements de phosphate et de manganèse du Nassau, fig. 55, I, 362.

Carte géologique du bassin de Stassfurt au $\frac{1}{200\,000}$, fig. 66, I, 431.

Carte géologique de la région de Beuthen (Haute-Silésie), au $\frac{1}{362\,000}$, fig. 277, II, 453.

Carte de la région de Commern et de Saint-Avold, fig. 333, II, 654.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

AMBRE. **Samland** : Memel, I, 153; Kœnigsberg, I, 153.

ANTIMOINE. Goldkronack et Wolfsberg près Schleiz (Fichtelgebirge), II, 200. — **Grand-Duché de Bade** : Salzbourg (Forêt Noire), II, 200. — **Hanovre**. Harz, II, 200. — **Westphalie** : *Arnsberg*, II, 204.

ARDOISES. **Hanovre** : Le Harz, I, 230. — **Saxe** : Eisleben, I, 230.

ARGENT. **Alsace-Lorraine** : Sainte-Marie-aux-Mines; Lacroix-aux-Mines; Giromagny; Saint-Jacques, Gabegottes, Saint-Guillaume et Glückauf dans le Rauenthal; Saint-Louis et Chrétien, II, 782.

ARSENIC. **Hanovre** : Harz, II, 209. — **Saxe** : Freiberg, Altenberg, etc. (Erzgebirge), II, 210.

BISMUTH. **Grand-Duché de Bade** : Wittichen et Sulzbach (Forêt Noire), II, 162. — **Saxe** : Schneeberg, Annaberg, Altenberg, Johanngeorgenstadt, II, 162. — **Westphalie** : Schutzbach (Pays de Siegen), II, 162 et 163.

BROME. **Anhalt** : Stassfurt, I, 306.

CADMIUM. **Silésie** : Tarnowitz, II, 462.

CÉLESTINE. **Prusse** : Dornburg près Iéna, I, 587.

CHROME. **Silésie** : Silberberg, II, 40.

COBALT. **Alsace** : *Markirch*, II, 82. — **Grand-Duché de Bade** : Schiltbach (Forêt Noire), II, 82. — **Hanovre** : Sangerhausen, Mansfeld, II, 85. — **Hesse** : Bieber, II, 85. — **Saxe** : *Schneeberg*, Marienberg, Annaberg, Joachimsthal, Johanngeorgenstadt, etc., dans l'Erzgebirge, II, 82. — **Thuringe** : Glucksbrunn, Camsdorf; Riechelsdorf (Thuringerwald), II, 85.

CORNALINE. **Palatinat** : Oberstein, I, 224.

CUIVRE. **Hanovre** : *Rammelsberg* près Goslar, II, 323 à 326; *Mansfeld*, II, 329 à 342. — **Hesse** : Frankenberg, Bieber, II, 343. — **Lorraine** : Saint-Avold, II, 345. — **Nassau** : Fortunatus, Gnade Gottes, Goldgrube, II, 256 et 257. — **Silésie** : Kupferberg, II, 272 et 273. — **Westphalie** : Stadtberg, II, 343 et 344.

EMERAUDE. **Saxe** : Ehrenfriedersdorf, I, 211.

ETAIN. **Saxe** : *Altenberg*, *Graupen*, Pöbel, Seiffen, Marienberg, Ehrenfriedersdorf, *Geyer*, Buchholtz, Abertham. *Weiss Andreas*, Martersberg, Schmiederberg, Wiederpöbel, Naundorf, Salisdorf, II, 127 à 136.

FER. **Hanovre** (Harz) : Zorge, I, 674; Elbingerode (Harz), Büchenberg, Tännichen, I, 749 et 750; Harzbourg I, 777. — **Prusse Rhénane** : Horhausen, près Coblentz, I, 729; *Brilon*, *Wetzlar*, *Weilburg*, *Dillenburg*, I, 750. — **Saxe** : Ehrenfriedersdorf, I, 729. — **Silésie** : Voigtland, aux environs de Wickau, I, 674 et 675; Catharina et Georgine, près de Kattowitz et Ruda; Orzesze et Ornontowitz, près de Myslowitz, dans la région de Dubensko; Nieder Radoschau, I, 765 et 766; Königshütte, *Tarnowitz* Gleiwitz, Zabrze, *Kattowitz*, *Myslowitz*, I, 768 à 771. — **Thuringe** : *Stahlberg* près de Mommel (Thüringerwald), I, 767. — **Westphalie** : *Stahlberg* près Musenn (Pays de Siegen), I, 694; Bassin de la Ruhr (*Hörde*, *Kirchhörde*, Bochum, I, 763 et 764; Bassin de Saarbruck (*Lehrbach*, *Börschweiler*, I, 765; *Lebach*, *Osnabruck*, I, 767); Hüggel, près Osnabruck; Rochusberg, près d'Ibbenbühren, I, 768. — **Wurtemberg** : Wasseralfringen, I, 786.

GALLIUM. **Prusse Rhénane** : Bensberg, II, 463.

GIOBERTITE. **Silésie** : Grochau, I, 574.

GRAPHITE. **Bavière** : Passau, I, 45.

GYPSE. **Anhalt** : Stassfurt, I, 429 à 460.

INDIUM. **Saxe** : Freiberg, II, 462.

JAYET. **Prusse**, I, 50. — **Saxe** : Wittemberg, I, 50.

KAOLIN. **Saxe** : Albrechsburg près Meissen, I, 615. — **Thuringe** : Eisenberg, Weissenfels, Martinrode, I, 628.

LÉPIDOLITHE. **Saxe** : Zinnwald, I, 461.

MANGANÈSE. **Hanovre** : *Ilfeld* (Harz), II, 17. — **Nassau** : Elbingerode, Eckholshausen, II, 26 à 30. — **Thuringe** : Rumpelsberg et Mittelberg, près Elgersburg (*Thuringerwald*), II, 17.

MARBRE. **Prusse** : Buschenberg, I, 546.

MOLYBDÈNE. **Saxe** : Auerbach, Altenberg, Ehrenfriedersdorf, Annaberg, Schneeberg, etc., II, 177.

NICKEL. **Alsace** : Markirch, II, 71. — **Bade (Grand-Duché)** : Horbach et Urberz ; dans le massif de la Forêt Noire, Saint-Blasien, II, 68 ; Schiltbach (Forêt Noire), II, 71. — **Hanovre** : Sangerhausen, Gerbstädt, Hettstädt, dans le *Mansfeld*, II, 71, — **Hesse** : Bellnhausen, près Marbourg, II, 72. — **Nassau** : Nauzenbach, près Dillenbourg, II, 71. — **Saxe** : Schneeberg, Lindenau, Zschorlau, Neustättel (dans le district de Freiberg) ; — Nietler-Regensdorf, près Liegnitz, dans le *Riesengebirge*, II, 71. — **Westphalie** : Altenrath et Musen (pays de Siegen) ; — Busenbach, Wingershardt et Schönstein (arrondissement d'Altenkirchen) ; — Rohnard (arrondissement d'Olpe), II, 71.

NIOBIUM et TANTALE. **Bavière** : Bodenmais, II, 464.

OR. **Prusse Rhénane** : Vallée du Rhin entre Rhinau et Kehl, II, 972.

PÉTROLE. **Alsace** : *Pechelbronn*, I, 138 ; *Soultz-sous-Forêt*, I, 138 ; *Lobsann*, I, 138. — **Brunswick** : Wintjenberg, I, 138. — **Hanovre** : Limmer, I, 137 ; Vorwohle, I, 138 ; Ahlen, I, 137 ; Velber, I, 137 ; Œlheim, I, 138.

PHOSPHATE DE CHAUX. **Nassau** : Weilburg et Limburg, I, 362 ; *Eckholshausen*, I, 363 ; *Cubach*, I, 364 ; *Frauenfels*, I, 365. — **Souabe** : I, 371. — **Westphalie** : Bassin de la Ruhr, I, 367.

PIERRE LITHOGRAPHIQUE. **Bavière** : *Solenhofen*, I, 539 à 542 ; Solenhofensbrüche, I, 541 ; Schwarzbrüche, Mornsheimbruch, Maxbruch, Haardtbruch, I, 542.

PLOMB. **Alsace** : Markirch, Saint-Nicolas, Lembach, Windstein, Katzenthal, II, 521. — **Bade (Grand-Duché)** : Hofen, Kirchhausen, Henbronn, Saint-Ulrich, Zähringen, Neuweier, près Steinbach ; Görwihl, Saint-Blasien, Hansach, Biersbach, Baden, II, 521 et 522. — **Hanovre** : Le Harz (*Saint-Andreasberg*, *Clausthal*), II, 577 à 584. — **Lorraine** : *Commern*, *Mechernich*, *Saint-Avold*, II, 653 à 660. — **Nassau** : Saint-Goarhausen, Holzappel, Ems, Kransberg, II, 522 ; Ems, II, 523. — **Palatinat** : Schönau, Bundenthal, Erlenbach, II, 521. — **Prusse Rhénane** : Schleiden, Call et Dotel, près Aix-la-Chapelle ; Bleialf près Trèves ; Saint-Johann, Saint-Jost, près Mayen ; Wittlich, II, 522 ; Mülheim près Bensberg, Hasternath, Stolberg, II, 522 ; Holzappel ; Obernhoff ; Zell sur Moselle, II, 523. — **Saxe** : *Freiberg* ; Marienberg ; Annaberg ; Schneeberg ; Joachimsthal (Bohême), II, 584 à 610. — **Thuringe** : Weitersberg, II, 522. — **Westphalie** : Altenkirchen, Ottershagen près Rosbach, Wingartshardt, Morsbach, Busenbach, Eulen ; Mulheim, Waldbrœl, Wipperfürt, Gummersbach, près Siegen, II, 522.

POTASSIUM. **Anhalt** : *Stassfurt*, I, 429.

SCHISTES BITUMINEUX. **Saxe** : Weissenfels, I, 186 ; Weissig, I, 196. — **Wurtemberg** : Reutlingen, I, 197.

STRONTIANITE. **Westphalie** : *Ahlen*, I, 584 et 585.

THALLIUM. **Hanovre** : Tilkerode (Harz), II, 463. — **Prusse Rhénane** : Brisgau, II, 463. — **Westphalie** : II, 463.

TOPAZE. **Saxe** : Schneckenstein près Auerbach, I, 238; Altenberg, I, 238; Ehrenfriedersdorf, I, 238; Geyer, I, 238.

TUNGSTÈNE. **Saxe** : *Zinnwald*, Altenberg, Graupen, Geyer, II, 172.

TURQUOISES. **Silésie** : *Jordansmühle*, Domsdorf, I, 413.

URANIUM. **Saxe** : Schneeberg, II, 180.

ZINC. **Bade (Grand-Duché)** : Wiesloch, Untergrombach, Silberhelle, près Bruchsal, Eschelbronn (Forêt Noire), II, 427 et 428. — **Bavière** : Bodenmais, II, 449. — **Prusse Rhénane** : *Bensberg*, (*Silbersand*, *Luderich*, *Apfel*, *Columbus*); — Siebengebirge (*Altglück*, *Ariadne*); Dusseldorf, (Eisinghausen); — Arnsberg (Rosenbeck); Overalh, Immekeppel; — Altenbruck, II, 412 à 416. — **Silésie** : Tarnowitz, Georgenberg, etc., II, 449 à 460. — **Westphalie** : Brilon et Iserlohn, II, 416; Nerim et Eupen près d'Aix-la-Chapelle II, 417; Hastenrath, Busbach, Hassenberg, Walheim, Walhorn, Loutzen, Lauersberg, sur la rive gauche du Rhin, II, 417; Kümper, Holtkamp, Overmeier (Munster); Osnabruck, II, 427; *Blankenrode* près Stadtberge, II, 437.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1778. CHARPENTIER. — Minéral. Géogr. d. chursächs. Lande.
1781. V. CAROSI. — Reisen durch verschiedene polnische Provinzen.
1789. LASIUS. — Beobachtungen über die Harzgebirge.
1794. KAPF. — Skizzen aus der Geschichte des Schlesischen Mineralreichs.
1802. L. DE BUCH. — Geogn. Beobacht. auf Reisen.
1815. DE BONNARD. — Essai géogn. sur l'Erzgebirge. (*Ann. d. M.*, t. XXXVIII, p. 372.)
1816. NEUMANN ET COTTA. — Explication de la carte géologique de la Saxe.
1822. V. OEYNHAUSEN. — Versuch einer geognost. Beschr. von Oberschlesien.
1834. ZIMMERMANN. — Das Harzgebirge, Darmstadt.
1838. NAUMANN. — Erläuterung z. geogn. Karte von Sachsen.
1848. FREIESLEBEN. — Beiträge zur Geschichte, etc., des Sächsischen Erzbergbaues.
1856. V. CARNALL. — Bergwerks Verhältnisse im preuss. St. (*Arch. f. Landeskunde der preuss. Monarchie.* Berlin.)
1856. V. BEUST. — Die Erzgangzüge im Sächs. Erzgebirge.
1857. STEINBECK. — Geschichte des Schlesischen Bergbaus. Berlin.
1860 V. CARNALL. — Oberschlesiens Gebirgsschichten. (*Wochens. des Schlesisch. Ver. f. B. u. H.* Breslau.)
1861. STELZNER. — Beiträge zur geognostichen Kenntniss d. Erzgebirges.
1870. RUNGE ET RÖMER. — Geolog. von Oberschlesien. (2 vol. et atlas, Breslau.)
* 1873. V. DECHEN. — Die nutzb. Miner. im deutsch. Reich.
* 1876-87. LAUBE. — Geologie des Böhmischen Erzgebirges (Prague).
1876. FERBER. — Bergm. Nachrichten von den Merkwürdigkeiten mineralischen Gegenden.
1879. — Erläuterung z. geol. zpecial Karte v. Preussen u. d. Thur. Staaten.
1881. FESTENBERG PACKISCH. — Mines métalliques de la Basse Silésie. (1 vol. in-4°, Vienne.)
1885. SANDBERGER. — Untersuchungen über Erzgänge. Wiesbaden.
1885. BLŒMEKE. — Ueber die Erzlagerstaetten der Harzes und die Geschicthe des auf. demselben geführten Bergbanes (*Berg u. Hüttenmännisches Jahrbuch;* vol XXXIII, p. 1 et 113 Vienne 1885.)
1887. ZEILLER. — Sur le Siebengebirge et l'Eiffel. (*Ann. d. M.*, 6e, t. XIX.)
1888. Oberschlesien : Sein Land und Industrie. (Glück auf.)

1889. V. Bernhardi. — Uber die Bildung der Erzlagertätten in Oberschlesien, (*Z. Obersch. B. u. H. v.*, p. 47.)
1890. V. Bernhardi. — Uber die Lage der Oberschlesischer Bergwerk und Hütten Indust. (*Z. Obersch. B. u. H. v.* 1890, p. 249.)

Voir, en outre, les publications périodiques :

Zeitschrift der deutschen geolog. Gesellschaft (Berlin).
Monatsb. d. k. Akad. der Wissenschaften (Berlin).
Berg und Hüttenmännische Zeitung (Leipzig).
Zeitschrift für das Berg, Hutten und Salinenwesen im preussischen Staate (Berlin).
Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure (Berlin).
Jahrb. für das B. u. H. im König. Sachsen.
Zitzungsb. d. Ak. d. Wissensch. zu München.
Petermanns Mittheilungen (Leipzig).
Zeit. f. Kristallographie und Mineralogie von Groth.
Tschermacks min. u. petr. Mittheilungen.
Jahrbuch Mineralogie und Geologie.
Nat. Ver. d. preuss. Rheinland u. Westfalen (Bonn).
Sitzungsber. d. Nieder Rhein. Gesell.
Statistique annuelle dans la Zeitschrift für das B. H. u. Sal. Wes. im pr. St.

ARGENTINE (RÉPUBLIQUE)

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Argent. **Province de Mendoza** : Cerro de Cacheuta.— **Province de Rioja** : Cerro de Famatina, II, 832.

Cobalt. **Province de Rioja** : Mine Solitaria, près Jague, II, 90.

Mercure. **Province de Jujuy** : Rinconada, II, 727.— **Province de Rioja** : Mejicana. Los Bayos, Tigre, Cerronero, Caldera, II, 832. — **Province de Mendozza** : Cerro de Cacheuta, II, 832.

Nickel. **Province de Rioja** : Mine Solitaria près Jague, II, 69.

Pétrole. Mendozza, I, 93.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1877. Stelzner. — Die nutzb. Mineralien der Argent Rep. (B. u H. Z. 340.)
* 1889. Hoskold. — Mém. sur les mines et la métal. de la Rép. Arg. (pour l'Exposition Universelle).
Périodique : — Ann. Soc. scient. Argentina (Buenos-Ayres).

AUSTRALIE

CARTE INSÉRÉE DANS L'OUVRAGE

Carte des gisements d'or d'Australie, fig. 382, II, 913.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Antimoine. **Nouvelle-Galles du Sud** : Baie de Munga près Macleay river; Armidal, II, 201. — **Victoria** : II, 201.

Plan général des environs de Przibram (Bohême), fig. 300, II, 570.

Carte géologique de la région de Littaï (Carniole), au $\frac{1}{30\,000}$, fig. 313, II, 618.

Carte du district de Schemnitz, au $\frac{1}{100\,000}$, fig. 364, II, 784.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Alunite. **Hongrie** : Siebengebirge, I, 607.

Antimoine. **Bohême** : Joachimsthal (Erzegbirge), Andreasberg, Przibram, II, 200. — **Hongrie** : *Magurka*, II, 192 et 193; Bisztra et Botza près Bries et Aranyidka près Kaschau, II, 193; Felsobanya, Schemnitz et Kremnitz, II, 202.

Argent. *Schemnitz* (Schemnitz, Windschacht, Dillen, Moderstollen, Hodritsch, Eisenbach), Kremnitz, II, 783 à 793.

Arsenic. **Bohême** : Joachimsthal, II, 209.— **Transylvanie**. Nagyag, Felsobanya, II, 210.

Asphaltes. **Dalmatie** : Ile de Brazza, I, 215; Porto-Mandolo, I, 215. — **Tyrol** : Seelfeld, I, 215; Hœring, I, 215.

Bauxite. Wochein, I, 595.

Bismuth. **Banat** : Cava Theresia près Cziklova, II, 163. — **Bohême** : Prokopi, Hauer, etc., près Joachimsthal, II, 163. — **Transylvanie** : Rezbanya II, 163.

Célestine. **Hongrie** : Rezbanya, I, 587.

Chrome. **Banat** : Orsova, I, CXI; II, 38 et 39. — **Styrie** : Kraubath et Krieglach, II, 40.

Cobalt. **Banat** : Oravicza, II. 86. — **Bohême** : *Joachimsthal* (Erzgebirge), II, 85; Przibram, II, 86. — **Hongrie** : *Dobsina*, II, 85. — **Styrie** : *Schladming*, II, 83 et 85.

Cristal de roche. **Tyrol**, I, 223.

Cuivre. **Banat** : Rezbanya, Morawicza, Dognaczka, Orawickza et Cziklowa, Rodna, Offenbanya, II, 258 et 259. — **Bohême** : Starkenbach, Hohenelbe, Eipel, Radowenz, II, 328. — **Bosnie** : *Kresevo*, *Prozor*, II, 307 et 308. — **Carinthie** : *Waschgang* près Döllach, *Gross Flagrant*, près Saxenbourg, II, 268 et 269. — **Hongrie** : Kotterbach, Szlovinka, Göllnitz, II, 277. — **Tyrol** : *Kitzbüchel*, *Kupferplatten*, Kelchalp, Rörobüchl, Mitterberg, II, 275 et 276; Kleinkogl, II, 308.

Emeraude. **Bohême** : Schlaggenwald, I, 241.

Etain. **Bohême** : *Zinnwald*, *Schlaggenwald*, *Eibenstock*, II, 127 à 136.

Fer. **Banat** : *Moravicza* et *Dognaska* (Paulus, Franciscus, Reichenstein, Pierre et Paul, Arpad, Bleistock, Simon Judas, La Carolina), I, 660 à 664. — **Bohême** : *Nucic*, I, 743. — **Carinthie** : Hüttenberg (Erzberg, Olsa, Frierach, Huttenberg, Lolling), I, 747 à 749. — **Carniole** : Jauerburg, Selenitza, I, 747 à 749. — **Hongrie** : Milova, Rezbanya, I, 661. — **Silésie** : Wittkowitz, I. 768 à 771. — **Styrie** : *Eisenerz* (*Erzberg*), (Soberhaggen, Eisenerz, *Vordernberg*), I, 747 à 749. — **Tyrol** : Schwaz (Erzberg), 747 à 749.

Gioberite. **Styrie** : Kraubath, Oberdorf, I, 574.

Graphite. **Basse-Autriche** : *Mühldorf*, I, 45. — **Bohême** : *Krummau*, *Schwartzbach*, I, 43; *Swojanow*, I, 45. — **Moravie** : *Pistau*, I, 45.

Grenat. **Bohême** : *Dlaskowitz*, I, 246.

Marbre. Villasenina, Vezza, I, 546.

MERCURE. **Bosnie** : Prozor, II, 705; Cresevo et Serajevo, II, 706. — **Carniole** : *Idria*, II, 686 à 695; *Saint-Anna* ou *Potocnig* (Neumarkt), II, 696; *Littai*, II, 696 et 697; Dobschau, Szlana, Kotterbach, Metzenseifen, II, 704 et 705. — **Transylvanie** : Thihuthal, II, 705.

MOLYBDÈNE. **Banat** : Moldava, II, 177. — **Bohême** : Zinnwald et Schlaggenwald, Przibram, II, 177. — **Carinthie** : Bleiberg, Windich-Kappel, Schwarzenbach, II, 177. — **Hongrie** : Rezbanya, II, 177.

MONTMORILLONNITE. **Styrie** : I, 614.

NATRON. **Hongrie** : Szekboden, I, 528.

NICKEL. **Hongrie** : *Dobsina*, II, 72. — **Salzbourg** : Leogang, II, 74. — **Styrie** : *Schladming*, II, 72 à 74.

OPALE. **Hongrie** : Czerwenitza, I, 225.

OR. **Transylvanie** : *Vulkoy*, Botes, *Vörösputak*, *Nagybanya*, Felsobanya, Kapnik, Abrudbanya, Rezbanya, Tokay, II, 930 à 938; *Nagyag*, Offenbanya, Rodna, II, 947 à 949.

OZOCÉRITE. **Basse-Autriche** : Gresten, près Gaming, I, 155. — **Galicie** : Boryslaw, I, 155; *Truskawice*, I, 155; *Starunia*, I, 155; Dwiniacz, I, 155. — **Moravie** : Libisch, I, 155.

PÉTROLE. **Croatie** : *Kopreinitz*, I, 128. — **Galicie** : *Boryslaw*, I, 124; *Truskawice*, I, 124; *Roczk*, I, 124; *Dukla*, I, 124; *Sanok*, I, 124; *Sloboda*, I, 124.

PLOMB. **Banat** : Rezbanya, etc., II, 525. — **Bohême** : *Przibram* et *Mies*, II, 569 à 577. — **Carinthie** : *Raibl*, *Bleiberg*, Windisch Kappel, II, 525 et 621; Gresfenburg, Villach, Klaggenfurth, II, 621. — **Carniole** : *Littai*, II, 618 à 621. — **Hongrie** : *Schemnitz*, Kremnitz, Kapnik, II, 525. — **Transylvanie** : Nagyag, Felsobanya, Offenbanya, II, 525. — **Tyrol** : Pfundererberg, Brezzuro, Schneeberg, II, 525.

SCHISTES BITUMINEUX. **Bohême** : Rakonitz, I, 196.

SEL GEMME. **Galicie** : *Wieliczka*, I, 510 à 514. — **Transylvanie** : Vizakna près Hermanstad, *Maros-Ujvar*, Parayd, Thorda, Does, *Marmaros*, Szlatina, Ronaszk, Szukatak, I, 505 à 509. — **Tyrol** (Salzkammergut) : *Hallein*, *Ischl*, *Halle*, *Hallstadt*, *Berchtesgaden*, etc., I, 478 à 482.

SEL MARIN. **Istrie** : I, 471. — **Dalmatie**, I, 471.

TELLURE. **Hongrie** : Offenbanya, I, 302.

THALLIUM. **Carinthie** : Raibl, II, 463.

TOPAZE. **Bohême** : Zinnwald, I, 238. — **Moravie** : Rozena, I, 238.

TUNGSTÈNE. **Bohême** : Schlaggenwald, II, 172.

URANIUM. **Bohême** : Joachimsthal, Georgenstadt, Przibram, II, 180. — **Hongrie** : Rezbanya, II, 180.

VANADIUM. **Bohême** : Joachimsthal (Erzgebirge), II, 96.

ZINC. **Carinthie** ; Klaggenfurth, II, 424; *Raibl*, II, 424 à 427. — **Tyrol** : Nassereit, Inspruck, II, 424; Sterzing, II, 449.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1798. ESMARCK. — Mineral Reise durch **Ungarn**.
1822. BEUDANT. — Voyage minéralogique et géologique en **Hongrie**.
1853 RIVOT et DUCHANOY. — Voyage en **Hongrie**. (*Ann. d. M.*)
1855. V. HAUER UND FOTTERLÉ. — Übersicht der Bergbaue der œsterreischichen Monarchie.
1865. DE LAPPARENT. — Constitution géologique du **Tyrol** méridional.
1866. Gisements métall. de la **Hongrie**. (*Cuyper*, t. XX, p. 319.)

1867. Castel. — Sur les mines et usines métalliques du **Banat** *Ann. d. M.*, 6e, t. XVI, p. 405.)
1870. V. Hauer. — Das Erzlvid bei Beslinac, rechst Terjove (**Confins militaires**. (*J. K. K. g. R. in Wien*, t. XX.)
1878. Silas. — Catalogue des produits de l'Autriche. (Gr. in-8°, 304 p. Vienne, 1878. Commission J. R. Centrale d'Autriche.)
1882. J. de Morgan. — Géologie de la **Bohême.** (In-8°, 161 p. Paris, 1882.)
1885. V. Hauer. — Erze und minerale aus **Bosnien.** (*J. H. K. g. R.*, t. XXXIV, p. 651. Wien, 1885.)

Voir, en outre, les publications périodiques :

Anz. der Akademie zu Wien.
Oesterreichische Zeitschrift für Berg und Hütten Wesen (Wien).
Jahrbuch und Verh. der K. K. geologischen Reichsanstalt (Wien).
Zeitschrift des Esterr. Ingenieur und Architecten-Vereins (Wien).
Königliche Ungarische geologische Anstalt (Buda-Pesth).
Berg und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. Berg Akademien zu Leoben und Przibram (Wien).
K. K. Naturhistorischer Hofmuseum (Wien).
Statistisches Jahrbuch des K. K. Ackerbau Ministeriums (Vienne) et statistique hongroise.

BELGIQUE

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Allophanes. Vizé, I, 614.
Barytine. *Fleurus*, I, 579 à 581.
Cadmium. Vieille-Montagne, II, 462.
Fer. I, 765.
Halloysites. Angleur, I, 613.
Plomb. Corphalie, Ampsin, Engis, Das, Moresnet, Verviers, Altenberg, Bleiberg-es-Montzen, II. 524 et 525.
Phosphates de chaux. *Ciply*, I, 397.
Pyrites. Theux, Vedrin, I, 289.
Schistes alunifères. Liège, I, 606.
Zinc. *Moresnet* (Vieille-Montagne), (Altenberg, Kelmisberg), *Welkenrædt;* Philippeville; Bleiberg; Diegenbusch, II, 417 à 423.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1878. Cornet (F. L.) — La Belgique minérale. (In-8°, 54 p. Liège.) (Catal. de l'Expos. de l'Ind. min. belge.)
1881. Dewalque. — Réunion de la Soc. geologique à Verviers.

BIRMANIE

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Corindon. Ava et Pégou, I, 602 et 603.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1885. *Cuyper*, t. IX. Bulletin.
Richesses minières de la Birmanie. (*Bull. Ann. des Mines*, 1893.)

1884. Carapebus. — Notice sur les richesses minérales du Brésil (In-8°, 54 p. et 2 cartes.)
1885. de Bovet. — Note sur l'état actuel de la législation des mines au Brésil. (*Ann. des Min.*, 8e, t. VII.)
1889. Notice pour l'Exposition universelle.
1889. de Santa-Anna Nery. — Le Brésil en 1889. Minéralogie, par Henri Gorceix, p. 60 à 104.
Périodique. — Annaes da Escola de Minas de Ouro-Preto.

CANADA et TERRE-NEUVE

CARTES INSÉRÉES DANS L'OUVRAGE

Carte de la région des phosphates au Canada, fig. 50, I, 336.
Carte de la région des gîtes de nickel au Canada, fig. 182, II, 61.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Amiante, **Québec** : Thetford, Coleraine, Dauville, Lac Noir, I, 228.

Apatites. **Ontario** : Comtés de Kinsington et Perth, I, 339. — **Québec** : Comté d'*Ottawa*, Districts de Buckingham, Templeton, Hull, Wakefield, Denholm, Emerald Mine, Little Rapid Mine, North Star Mine, Union, Phosphate Mining, Phosphate of Lime, Blackburn, Jackson Canada industrial Co, Templeton and Blanche River Phosphate Co, I, 339.

Bauxite. I, 595.

Bitume. **Nouveau-Brunswick** : Comté d'Albert, Hillsborough, I, 170.

Cuivre. **Ontario** : Sudbury, II, 226. — **Terre-Neuve** : Betts Cove, I, cxi ; II, 217.

Fer. Marmora, Newborough, I, 700.

Gaz naturels. **Québec** : Louisville ; Trois-Rivières, I, 57.

Giobertite. I, 574.

Graphite. **Comté de Buckingham** : *Buckingham; Lochhaber*, I, 47. — **Rhode-Island** : Cumberland Hill et Cranston, I, 46.

Marbres. Greensville, Missisquoibay, I, 547.

Mica. **Québec** : Villeneuve ; Mine Leduc ; Chicontimi-Jonquière ; Berthier-Maisonneuve, I, 227.

Nickel. **Ontario** : Sudbury, II, 60 à 62 ; Oxford et Sterry Hunt, II, 62.

Pétrole. **Quebec** : Dereham ; Enniskillen, I, 90.

Schistes bitumineux. **Nouvelle-Ecosse** : Fraser et Hillsborough, I, 186. — **Québec** : Bossanquet, I, 186.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1855. Logan et Sterry Hunt. — Esquisse géolog. du Canada (pour l'Expos. Univ.).
1863. Rapport général sur la géologie du Canada.
1866. Sterry Hunt. — Exploration géologique du Canada.
1872. Logan. — Geology of Canada.
1876. Descriptive catalogue of economic minerals of Canada (Exposition de Philadelphie).
1873-77. Vemor. — Revue géologique d'Ottawa.
1877-78. Harrington. — Revue géologique d'Ottawa.
1878. Robert-Bell. — Report on an exploration of the east coast of Hudson bay. (*Geol. Survey of Canada*, 1877-78.)

1881. Willimott. — Sur quelques mines de la province de Québec. (*Com. géol. et d'hist. nat. du Canada.*)
1884. Narrett. — On the occurr. local. and out put of the economic minerals of Canada. (*Rep. of the 54e meet. of brit. Ass. for adv. of Sc.* p. 719.)
1885. Menitt. — Economic minerals of Canada.
1886. Selwyn. — Economic minerals of Canada (London).
1887. Coste. — Mining and mineral statist. of Canada (geol. u. nat. hist. surv.).
1888. Danson. — The mineral Wealth of the British Columbia (geol. surv. of. Can.).
1889. Adams et Lawson. — Canadian report of science.
1892. Howley. — Mineral Resources of Newfoundland.

Voir, en outre, les publications périodiques :

Obalski. — Rapports annuels sur les mines du Canada. (Prov. de Québec.)
Canadian institute (Toronto).
Canadian naturalist and geologist (1857-1867).
Geological and natural History Survey of Canada (Ottawa).
Rap. des op. de la Com. geol. du Canada.
Exploration géologique du Canada. Rapport annuel.
Proc. and trans. of the royal Society of Canada (depuis 1883).
Geological Survey of Newfoundland (St. John's).

CEYLAN

CARTE INSÉRÉE DANS L'OUVRAGE

Carte de l'ile de Ceylan, fig. 10, I, 48.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Corindon. I, 603.

Graphite. **Columbo** : Ratnapura, I, 48; Catura, I, 48 ; Matura, I, 48.

Topaze. I, 239.

Zircon. Matura et Saffragan, II, 464.

CHILI

CARTES INSÉRÉES DANS L'OUVRAGE

Carte des nitrates de soude du désert d'Atacama, fig. 65, I, 421.

Carte de l'Amérique du Sud, au $\frac{1}{60\,000\,000}$, fig. 376, II, 842.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Argent. *Chanarcillo* près Copiapo; *Caracoles* près Antofagasta; Aculeo près Naltagua, Palpaico, la Calera, le Melon, San Felipe, Rodeito, Arqueros, Pampa Larga, Cerro de la Plata, Le Checo, Bandurrias, Agarrobito, Ladrillos, Tres Puntas, La Florida, Esmeralda, Griton, etc.; Algadones de Ovalle, Agua Amarga, Tunas, la Jasilla, Rosilla, Algarrobito, Altar, Cachiyuyo de Plata, Sacramento, Bordas, San Antonio, etc,; II, 841 à 849.

Bismuth. San Antonio del Potrero grande, II, 164.

Cobalt. Huasco, Tres Punctos, II, 90.

Cuivre. Carrizal, Tambillos, *Tamaya*, Antofagasta, Chanaral, Higuera, Brillador, Panulcillo, San-Juan, Punitaque, Paposo, Taltal, Cobra, etc.; San

Antonio, Cerro Blanco (Copiapo), Chingoles, Machetillo, Porotos (Coquimbo), Rapal, San Lorenzo, Parral (Combarbala). Nuncaballo, Quiroga et Calabazo (Illapel), Puquios, Arqueros, etc., II, 253 à 256.

MERCURE. Punita ; Chili ; Aqueras (Atacama), II, 726.

NICKEL. Huasco, Chanarchillo, Atacama, II, 69.

NITRATE DE SOUDE. Caracoles, Aguas Blancas, Punta Negra, Cachiyugal, Baron, I, 422.

OR. Illapel (Los Hornos) et Combarbala (Province de Coquimbo) ; Nancagua et Duranzo (Yaquil) ; Andacollo, Los Cristales (Canquenes), Talca, Arauco, Niblinto (Chillan), Catapilco (Valparaiso, II, 926 à 929).

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1853. CAZOATTE. — Mines d'argent et de cuivre du Chili. (*Ann. d. M.*, 5e, t. IV, p. 518.)
DOMEYKO. — Constitution géologique du Chili. (*Ann. d. M.*, 4e, t. IX.)
1855. PISSIS. — Sur les Andes. (*C. R.*, p. 764.)
1857. PIMPERANI. — Sur la prod. métall. du Chili. (*Ann. d. M.*, 5e, t. XVI, p. 543.)
1881. Minéraux du Chili. (*Ann. d. M.*, 1881, p. 35.)
1884. HENWOOD. — Metalliferous deposits.
1890. WASHINGTON LASTARRIA. — L'industrie minière au Chili.

CHINE ET CORÉE

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

ARSENIC. II, 210.

CORINDON. **Thibet**, I, 602.

ÉTAIN. Adun-Tschelon, II, 147.

MERCURE. Kwei-Chau, II, 709. — **Corée** : Hoang-Hai, II, 709.

OR. **Transbaïkalie** : Ninghai (Shantung) ; Tokhjalung (Thibet), etc., II, 878.

SARDOINES. I, 225.

SEL GEMME. **Se-tchoan** : Lochan, Kien-ouy, Fou-Choen, I, 473.

COLOMBIE ET AMÉRIQUE CENTRALE

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

ÉMERAUDE. **Nouvelle-Grenade** : *Muso*, I, 241 ; Bogota, I, 241.

MERCURE. Cruces (Panama) ; Magdalena (Zolima) ; Santa-Rosa (Antioquia). II, 724.

OR. Sardanilla (Panama), II, 912.

PLATINE. Chorco et Barbacoas, II, 1 000.

CUBA

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

BITUME. Guanabacoa, 169 ; Bajurabayo, I, 169 ; Baues, 169.

MARBRES. I, 547.

PÉTROLE. I, 92 ; Matansias, I, 170 ; La Havane, I, 170.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1884. D. Pedro Salterani y Ligarra. — Croquis geologico de la Isla Ligarra Cuba. (*Boletin de la Comision del mapa geologico de Espana*, t. XI, Madrid, 1884.)

1893. L. de Launay. — Les richesses minières de Cuba. (*Bull. Ann. d M.*, mai 1893.)

ÉQUATEUR (RÉPUBLIQUE DE L')

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Mercure. Loja, II, 724.

Pétrole. I, 93.

ESPAGNE

CARTES INSÉRÉES DANS L'OUVRAGE

Carte minière du Sud de l'Espagne, au $\frac{1}{7\,000\,000}$, fig. 285, II, 526.

Carte géologique de la région ferrifère de Bilbao, fig. 134, I, 792.

Carte du gisement de manganèse de Ciudad-Réal, fig. 168, II, 23.

Carte géologique de la région d'Huelva, au $\frac{1}{650\,000}$, fig. 220, II, 297.

Carte géologique de la région de Linarès, au $\frac{1}{360\,000}$, fig. 288, II, 530.

Plan topographique, géologique et minier de Mazarron, fig. 298, II, 557.

Carte géologique de la région d'Almaden, au $\frac{1}{200\,000}$, fig. 335, II, 672.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Antimoine. **Catalogne** : Saint-Martin-de-Villalonga (district de Bach et Abella), près Barcelone, II, 201. — **Estramadure.** II, 201.

Apatite. **Andalousie** : *Cap de Gate*, colline de Jumilla, I, 326.

Argent. Guadalcanal, près Séville; Cazalla; Fuente del Rayo près Castuera; Minaflores; Hien de la Encina, près Jadragun (Sierra de Guadalajara); Sierra Almagrera (Jaroso, Cabezo de las Herrerias), Autrevida, Milagro de Guadalupe), II, 777 à 779.

Arsenic. **Aragon** : Gistain, II, 210. — **Asturies.** Oviedo, II, 210.

Cadmium. **Asturies** : II, 462.

Célestine. **Andalousie** : Conil et Montellano, I, 587.

Cobalt. **Andalousie** : *Guadalcanal*; Sierra Cabrera et Sierra Alhamilla, II, 84. — **Aragon. Province de Huesca** : *Gistain* (Baronia, San Pedro, San Benito, Providencia, Emilia, Esperanza, Theresa, et Santa Barbara), dans les Pyrénées, II, 83. — **Asturies.** II, 83.

Cuivre. **Asturies** : (Reocin; Udias; Mercadal; Comillos; la Nestosa), Santander; Picos de Europa, II, 437 et 438. — **Cordoue** : Cerro-Muriano, II, 296. — **Grenade** : Sierra-Nevada (Guadiz, Trebelez, Santa-Constanza et Lantegra;

Santa Felicia; Guejar Sierra. San Andrès), II, 305 et 306. — **Huelva** : *Rio-Tinto*, *Tharsis*, Lagunazo, Confessionario, La Zarza, Aguas Tenidas, etc., II, 296 à 302. — **Séville** : Barrancanès, II, 298.

ETAIN. **Carthagène** : San Isidoro et Marinera, II, 146. — **Galice** : San Miguel, près d'Orense et de Viana del Bollo, II, 145. — **Salamanque** : Terrubias et Santo Tome de Rozados, II, 146.

FER. **Almeria** : Carbonara, La Ferreria, La Fraternidad, I, 693. — **Andalousie** : Villa-Canas, I, 745; *Sierra de Carthagène*, I, 768. — **Biscaye** : *Bilbao* (Miravilla, El Moro, Ollargan, Iturrigori, Castrijana, etc.); *Somorrostro* (Triano, Galdanes, etc.), I, 790 à 796. — **Murcie** : Morato, Monte-Cuco, Sierra de Frente; Parazuelos, Sierra de Lomo de Bas; Sierra de Cocon, près **Aguilas**; Sierra de Médio; Sierra Almagrera (las Herrerias); Sierra de **Bedor**, I, 690 à 692.

GALLIUM. **Asturies** : II, 463.

GLAUBÉRITE. *Cien-Pozuelos*, près Aranjuez, I, 524 à 528.

GRAPHITE. **Pyrénées** : Mont Labour, Barbarisia, I, 41.

JAYET. **Aragon**, **Asturies**, **Galice**, I, 50.

MANGANÈSE. **Ciudad-Réal** : Val-de-Peñas, II, 22 à 25.

MARBRES. **Estramadure**, I, 546.

MERCURE. **Almeria** : Culvas de Vera, II, 681. — **Asturies** : Mieres, II, 681 et 682. — **Ciudad-Real** : *Almaden*, II, 672. — **Grenade** : Sierra Nevada, (Albunal, Almegijar, Notez, Ferreiro), II, 681. — **Guipuzcoa** : Santander, II, 681. — **Jaen** : Linarès, II, 681. — **Valence** : Creu, II, 681.

NICKEL. **Andalousie** : Malaga, II, 59 et 74. — **Aragon** (Prov. de Huesca) : Gistain II, 74. — **Galice** : Près le cap Hortegal, II, 74.

OR. **Galice** : Rio-Sil et Rio-Duerna, II, 975 à 976. — **Grenade** : Le Genil, II, 977: Cerro del Sol, II, 977.

PHOSPHORITES. **Estramadure** : *Zarza-la Major*, Leclavin, I, 344; *Logrosan*, I, 345; *Caceres*, I, 346.

PLOMB. **Badajoz** : Castuera, II, 549 et 550; Peñarroya, Minaflorès y Alondra: Consecuencia de Berlanga, II, 550. — **Ciudad-Real** : *Horcajo*, II, 547 et 548; La Romana, Almagro, II, 549. — **Jaen** : *Linarès-la-Carolina*, II, 526 à 546. — **Murcie** : *Sierra de Carthagène*, II, 550 à 556; *Mazarron* et Aguilas, II, 557 à 559.

PYRITES. **Biscaye** : Santander, Bilbao, Morena, I, 289.

SEL GEMME. **Catalogne** : Cardona, I, 498; Caparosa, I, 499; Posa, près Burgos I, 499.

SOUFRE. **Andalousie** : Teruel, Cadix, I, 283. — **Murcie** : Lorca, I, 283.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1796. HOPPENSACK. — Sur l'exploitation des mines en Espagne. (Weimar.)

1847. PAILLETTE. — Sur les mines de plomb de l'Espagne. (*B. S. G.*, 2e, t. XIV, p. 522.)

1852. LESTAC. — Note sur le district métallifère du Moncayo dans le royaume d'**Aragon**. (*Ann. d. M.*, 5e, t. I, p. 107.)

1853. DE VERNEUIL. — Const. géol. de pl. provinces de l'**Espagne**.

1855. LAN. — Voyage dans la sierra Morena et le nord de l'**Andalousie**. (*Ann. d. M.* 5e, t. XII, p. 561.)

1856. BOTELLA. — Description geologica minera de las provincias de **Murcia** y Albacete.

1857. DE VERNEUIL et COLOMB.— Itin. dans le Sud-Est de l'Espagne. (*B. S. G.*, t. XIII, p. 674.)
1858. NOBLEMAIRE. — Etude sur les richesses minérales de la Seo d'Urgel (**Catalogne**). (*Ann. d. M.*, 5e, t. XIV, p. 49.)
1873. DONAYRE — Provincia de **Zangoza**.
1875. DE COSTAJAR. — Provincia de **Cuenca**.
1875. CENTENO. — Islas **Filipinas**. (*Bol. de la Com. del map. geol.* t., III, p. 181.)
1875. VIDAL. — Geologia de la provincia de **Lerida**. (1 vol. in-8°, 77 p., 1 pl. Madrid.)
1876. EGOZCUE Y MALLADA. — Province de **Cacérès**, Madrid (Voir un résumé dans la *Revue de Géol. des Ann. d. M.*, 7e, XIII, p. 250.)
1876. HENERA. — Datos geologico mineros de la provincia de **Jaen**. (*Bol., com. map. geol.*, t. IV, p. 17.)
1877. RAMIREZ LASALA. — Datos geolog. min. de la provincia de **Santander**. (*Bol. com. map. geol.*, t. V, p. 167.)
1877. DE COSTAJAR. — Provincia de **Valladolid**.)
1878. MONTRÉAL. — Géologie de la province d'**Almeria**.
1878. LUCAS MALLADA. — Province de **Huesca**.
1878. R. VON DRASCHE. — Ueber den geologischen Bau der **Sierra Nevada** in Spanien (*Verhandlungen der K K. geol. Reichanstallt*, 1878, p. 390. Vienne.)
1879. HERMITE. — Etude géologique sur les **îles Baléares**.
1879. SANCHEZ BLANCO. — Provincia de **Santander**. (*Bol. com. map. geol.*, t. III, p. 279.
1879. FELIPE MARTIN DONAYRE. — Provincia de **Salamanca**.
1879. DE COSTAJAR. — Provincia de **Cuidad-Real**. (*Bol., com. map. geol.*, t. VII, p. 289.)
1880. CARON. — Bericht über eine Instruction Reise nach Spanien. (*Zeit. prussien*, p. 130.)
1880. AMALIO GIL Y MAESTRO. — Provincia de **Salamanca**.
1881. CASTEL. — Descr. geol. de la prov. de **Guadalajara**. (*Bol. com. map. geol. Espana*, 8, 2, 172.)
1881. MAURETA. — Provincia de **Barcelona**.
1881. GONZALO Y TARIN. — Resena fisica y geologica de la provincia de **Grenada**. (*Bol. com. map geol. Espana*, t. VIII, p. 35.)
1881. JOSÉ VILANOVA. — Datos geol. de la provincia de **Valencia**. (*Bol. com. map. geol. Espana*, t. VIII, p. 265).
1881. R. VON DRASCHE. — Datos para un estudio geologico de la isla de **Luzon** (*Filipinas*). (*Bol. com. map. geol. Espana*, t. VIII, p. 269.)
1882. CARLOS CASTEL. — Provincia de **Guadalajara**.
1882. DE COSTAJAR Y PATO. — Provincia de **Valencia**.
1882. LUCAS MALLADA. — Provincia de **Navarra**. (*Bol. com. map. geol. Espana*, t. IX, p. 1.)
1882. BOTELLA. — Provincia de **Almeria**. (*Bol. com. map. geol. Espana*, t. IX, p. 227.)
1883. PUY Y LEMAZ. — Provincia de **Zamora**.
1884. RAMON ADAN DE YARZA. — Provincia de **Guipuzcoa**.
1884. LUCAS MALLADA. — Reconoscimiento geol. de la prov. de **Jaen**. (*Bol., com. map. geol. Espana*, t. IX, p. 1.)
1884. ABELLA Y CASARIEGO. — La Isla de Biliran (**Filipinas**) y sus azufrales. (*Bol. com. map. geol. Espana*, t. XI, p. 359.)
1885. RAMON ADAN DE YARZA. — Provincia de **Alava**.
1886. LUIS M. VIDAL. — Provincia de **Gerona**. (*Bol. com. map. geol. Espana*, t. XIII, p. 209.)
1888. FOUQUÉ, M. LÉVY, BERTRAND, BERGERON, etc. — Mission d'Andalousie. (*Mém. de l'Acad. des Sciences.*)
1888. HERMITE. — **Islas Baléares**.
1888. G PUIG Y RAF. SANCHEZ. — Provincia de **Santander**. (*Bol. com. map. geol. Espana*, t. XV, p. 251.)
1891. GONZALO Y TARIN. — Description de la province de **Huelva**, 3 vol.
R. ADAN DE YARZA et FR. ARIAS. — Bosquejo geologico y topografico de la zona minera mas importante de la province de **Viscaya**, 1 feuille.

Voir, en outre, les périodiques suivants :
Revista Minera Madrid.
Boletin et Memorias de la Comision del Mapa geologico Madrid.
Ann. Acc. Nac. Sc. Ex. de Cordova.
Estadistica Minera Ministerio de Fomento.

ÉTATS-UNIS

CARTES INSÉRÉES DANS L'OUVRAGE

Carte géologique en couleurs de l'Amérique du Nord (Pl. I, t. I, p. 73).
Carte des régions pétrolifères de la Pensylvanie, fig. 14. I. 76.
Carte du district minier de Negaunee (Lac Supérieur), fig. 114. I, 719.
Carte géologique de la région du Lac Supérieur, fig. 224. II, 312.
Carte de la région des mines de plomb argentifère de Bingham, fig. 299, II, 564.
Carte géologique de la région de Leadville, au $\frac{1}{20\,000}$, fig. 325, II, 639.
Carte géologique de la région d'Iron Hill, à Leadville, fig. 327, II, 647.
Carte géologique du groupe de Fryer Hill, à Leadville, fig. 331, II, 649.
Carte des gisements miniers (mercure, or, etc.) de Californie, fig. 348, II, 712.
Carte du bassin aurifère de la rivière Yuba (Californie), fig. 388, II, 968.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Allophanes. Utah. I, 614.

Argent. **Montana** : *Butte-City*. Mine Alice. Magna Carta. Blue bird, Moulton, Boston and Montana C°. Mine Lexington (Lexington, Atlantic, Wild dat, Allie Brown, Mill Site). II, 808 à 811. — **Nevada** : *Comstock* (Gold hill group, Crownpoint, Belcher, Yellow-Jacket, Imperial, Empire; Central groupe, Savage, Gould and Curry, Hale and Norcross, Chollar Potosi; Bonanza Group, Consolidated Virginia, California, Ophir). II, 793 à 806; *Austin* North Star, Oregon, etc.). II, 807 et 808.

Arsenic. Haver-Hill: Jackson, II, 210.

Bismuth. **Caroline** : Cesterfield, etc., II, 166. — **Colorado** : Ouray, II, 166. — **Géorgie** : II, 166. — **Montana** : II, 166. — **Utah** : II, 166. — **Virginie** : Monroe, Tellurium, II, 166.

Bitume. **Virginie** : Ritchie, I, 170.

Borax. **Californie** : Lac de borax, près le lac Clear, I, 253; lac Hachinhana, I, 254; San Bernardino, I, 254; Death Valley, Amargosa, Furnace Creek, dans le comté d'Inyo, I, 254; Comté de Kern, I, 254; Columbus Marsh, Rhodes Marsh, Tels Marsh, Fish Lake, dans le comté d'Esmeralda, I, 255.

Cadmium. **Pensylvanie** : Friedensville (Lehig C°), II, 462.

Célestine. **Pensylvanie** : Lac Erié, Vallée de Logau, I, 587.

Chrome. **Californie**. Shasta, Alameda, Placer, San-Luis, Obispo, II, 37 et 38.

Cobalt. **Colorado** : Gothic (Gunnison C°), II, 91. — **Connecticut** : Chatam, II, 91. — **Maryland** : Patapsco, près Finksburg (Carroll C°) et Mineral Hill, II, 90 et 91. — **Missouri** : La Motte, II, 91. — **Nevada** : Lovelock, II, 91. — **New-Hamsphire** : Franconia, II, 91. — **New-Jersey** : Camden, II, 91.

Corindon. I, 603.

CRYOLITE. **Californie**, I, 601.

CUIVRE. **Arizona** : Old Dominion, Copper-Queen, Arizona, Détroit, etc. II, 262 et 263. — **Colorado** : Utica, II, 268. — **Michigan** : *Lac Supérieur* (pointe de Keweenaw, Portage, Calumet and Hecla, Quincy, Osceola, Central mine, Copperfels, Cliffmine, South-Cliff, North-Westhern; Otonagon, Minnesota; Ile royale), II, 309 à 321. — **Montana** : *Anaconda*, Butte, Gagnon, *Parrott*, Moutain View, II, 263 à 267. **New-Jersey** : II, 257 et 258.

EMERI. **Massachusetts** : Chester (Hampdenshire), I, 605.

ETAIN. **Californie** : Temescal, II, 147. — **Dakota** : Nigger Hill (Black Hills) (Laurence C^{y}); Hamey Park (Pennington C^{y}); Warrens Gulch (Custer C^{y}), II, 147.

FER. **Missouri** : Iron Mountain, I, 675 et 676. — **New-Jersey** : Franklin et Sterling, I, 701. — **New-York** : Monts Adirondack (lac Champlain), I, 700; Peeks hills, I, 701; Forêt de Dean, I, 701. — **Pensylvanie** : Pennsburg, New Providence, I, 654; Cornwall, I, 701; lac Supérieur, Negaune près Marquette; Iron Ridge, Smith's Iron Mountain, Michiganni Iron Mountain; Menomonée, I, 719 et 720; Alleghany, Vallée de Lehig (Grande Vallée), I, 745 et 746. — **Tennessee** : Alleghany, Chatanvoga (Grande Vallée), I, 745 et 746.

GAZ NATUREL. **Ohio** : *Findlay*, I, 56. — **Pensylvanie** : *Pittsburg*, I, 56.

GRAPHITE. **Alabama** : Monts Apalaches, I, 46. — **New-York** : Ticonderaga, I, 45. — **Wyoming** : Gunnison C^{o}, Pilkin, I, 46; New Mexico, 49.

MANGANÈSE. **Arkansas** : Batesville, II, 31. — **Caroline du Nord** : Warm-Springs, II, 31. — **Géorgie** : Cartesville, II, 30. — **Missouri** : Iron Mountain, II, 31. — **Virginie** : Crimora, II, 11 et 30.

MERCURE. **Californie** : Solphur Bank, Great western, Great Eastern, Redington, California, Manhattan, New-Almaden, New-Idria, etc., II, 711 à 721; Manzanita, II, 721; Calistoga, II, 721; Slayton (San Benito), II, 721. — **Nevada** : Barcelone (Belmont), II, 721. — **Utah** : Maupville, II, 721.

MOLYBDÈNE. **Connecticut** : Haddam et Saybrook, II, 177. — **Maine** : Blue Hall, Bay, II, 177. — **Massachusetts** : Shutesburg et Burnfield; Southampton, II, 177. — **New-Hampshire** : Westmoreland. II, 177. — **New-Jersey** : Franklin-Furnace, II, 177. — **New-York** : Warwick, II, 177.

NICKEL. **Californie** : New-Almaden, II, 59; lac Huron, (Mine Wallace), II, 68. — **Connecticut** : Chatam, près Middletown, II, 69. — **Missouri** : La Motte, II, 69. — **Orégon** : Mont Piney (Comté de Douglas), II, 59. — **Pensylvanie** : Lancaster Gap, Texas (Lancaster C^{y}), II, 69. — **Vermont** : Troy, II, 69.

OR. **Californie** : Motherlode (Mariposa); Gold Gate et Confidence (Tuolumne); Mother Lode (Calaveras); Woodside, Taylor, Mount pleasant (Eldorado); San Patrick, Crater, Spanish, Gold Blossom, Mina Rica, San Lauwence, Buckeye, Cooper, Scott, Holder, Shadyside, Auburn, Solsie, Consolidated, Orléans, Crandall, Julian, etc. (Placer); Gross Valley, Idaho, New-York Hill, Eureka Empire, Pittsburg, Antilope, Gold Tunnel, etc. (Nevada); Suckerflat, Smartsville, Timbuctoo. (Yuba); Cherokeeflat, Forbestown Consolidated, Mammoth (Butte), II, 919 à 925; Magnolia (Mountain Lion et Keystone), Melvina (Boulder County), II, 945 et 946; Blue Lead river, Forest, Yuba river, Bear river, American river, Makelumne river, Stanislas river, Tuolumne river, etc. (Sierra Nevada, Placer, Plumas); Smartsville, French Corral à North San Juan, Nebraska, Bagdler Hill, Snow Point (North Bloomfield), II, 961 à 969. — **Caroline du Nord** : Alleghany, Randolff, Washington (Davidson C^{y}), Phœnix et Boger (Cabanas C^{y}), II. — **Caroline du Sud** : Alleghany : Haile (Lancastre), II. — **Dakota** : Blackhills, II. —

Géorgie : Alleghany, Daklonega, II, 954. — **Virginie** : Alleghany : Whitehall (Spotsylvania) ; Tellurium (Fluvarna), II.

Ozocérite. Utah, I, 155.

Pétrole. **Californie** : I, 91. — **Colorado** : Florence, I, 92. — **Illinois** : Gallatin, I, 91 ; Salina, I, 91. — **Kentucky** : Cumberland, I, 91. — **Nevada** : I, 92. — **Ohio** : Washington, I, 91 ; Meigs, I, 91 ; Otheus, I, 91 ; Duck Creek, I, 91. — **Pensylvanie** : Oil creek, I, 75 ; Central Alleghany, I, 75 ; Tidionte and Fagundus, I, 75 ; Beaver and Smith's Ferry, I, 75 ; Pithole and Cashup, I, 75 ; Butler and Armstrong, I, 75 ; Clarion, I, 75 ; Bradford, I, 75 ; Warren and Forest, I, 75 ; Bullion, I, 75 ; Alleghany County, I, 75.

Phosphates de chaux. **Caroline du Sud** : *Charlestown*, I, 404. — **Floride** : Ocala, Charlotte Harbour, I, 407.

Plomb. **Colorado** : Sherman, Brown, Republicain ; Leavenworth, Park, Frémont, Summit, San Juan près Silverton, Mineral City, Lake City ; Red-Cloud, Malvina, American ; Boulder ; Caribon, II, 567 et 568 ; *Leadville* (Iron Hill, Carbonate Hill, Fryer Hill), II, 637 à 651. — **Haut Mississipi** : Mine Williams, II, 622 et 623. — **Nevada** : *Eureka* (Prospect Mountain et Ruby Hill), II, 626 à 637. — **New-York** : Rossie (Saint-Laurence C^y), II, 563. — **Utah** : *Bingham*, II, 563 à 567 ; Emma Mine, II, 624 et 625. — **Wisconsin** : Mineral Point, II, 623 et 624.

Pricéite. **Californie** : Calico, dans le Comté de San Bernardino, I, 254.

Schistes bitumineux. **New-York** : Hudson river, I, 186 ; Lac Huron, I, 186.

Sel gemme. **Nevada** : I, 476 ; I, 524. — **Ohio** : Syracuse, Salina, I, 476. — **Utah** : Sevier et grand Lac Salé, I, 522 à 524.

Topaze. Monroe, I, 239.

Titane. **Arkansas** : Magnet Cave (Hot Spring C^y), II, 99. — **Colorado** : Grape Creek (Costilla C^y), II, 97 ; Gunnison (Gunnison C^y), II, 98. — **Connecticut** : Washington, II, 98. — **Minnesota** : Misabi iron range, II, 78. — **New-York** : Essex et Clinton C^y, II, 98. — **Wyoming** : Iron Mountain (Albany C^y, II, 98.

Zinc. **Illinois** : Péru, la Salle, Collinsville ; — **Kansas** : Moseley ; — **Missouri** : Glendale, Joplin, Webcity, Carterville, Granby, II, 362.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1809. Henry. — Voyage au Lac Supérieur.
1850. Foster et Whitney. — Rapport sur la géol. et la topogr. d'une partie du **Lac Supérieur.**
1850. Agassiz. — **Lac Supérieur** ; ses car. phys., sa végétation et sa faune.
1852. Rich. min. de la **Californie**. (*Ann. d. M.*, 5e, t. I, p. 597.)
1855. Rivot. — Voyage au **Lac Supérieur**. (*Ann. d. M.*, 5e, t. VII, p. 173.)
1855. Manou. — Sur les gites métall. des Etats-Unis et du Canada. (*B. S. G.*, 2e, t. XII, p. 916)
1865. Geological Survey of **California**. (*Annual report.*)
1866. Gisements de l'Amérique du Nord. (*Cuyper*, t. XX, p. 319.)
1866. Friguet. — Const. géol. et min. de la **Californie**. (*B. S. G.*, 2e, t. XXIII p. 347.)
1867. Clarence King. — Exploration of the fortieth parallelt.
1868. Simonin. — Mines d'argent du **Colorado**. (*B. S, G.*, 2e, t. XXV, p. 453),
1868. Simonin. — Sur les mines d'or du **Colorado**. (*B. S. G.*, 2e, t. XXIV, p. 684.)
1873. Observ. on the mining district of **Sonora**. (*Trans. of the geol. Soc. of Cornwall*, t. VII, p. 216.)

1874 et 1875. Simonin. — Mines d'argent aux Etats-Unis. (*Revue des Deux-Mondes.*)
1876. Marcou. — Report on the geology of a portion of **Southern California.** (In-8°, 14 p., 1 pl. Washington.)
1876. Lœw. — On the erupt. rocks of **Colorado.** (*Tenth. an. rep. Un. St. geol. surv.*, p. 269.)
1877. Moses Strong. — Geology of **Wisconsin.**
1877. Whitney. — Metallic wealth of the United States.
1877. Geological survey of territories (U. S. A.), M. F. V. Hayden. (*Geol. and geogr. Atlas of Colorado and portions of adjacent territory*, 20 p.)
1877. Chamberlin (T. C.). — Geology of **Wisconsin,** *survey of* 1873-77, t. II, gr. in-8°, 788 p., 37 pl. et atlas in-fol. de 14 cartes.
1878. Raymond. — Mining Statistic west of the Rocky mountains. (*Engin*, mai 1878.)
1880. Jenney. — Mineral Resources of the Black Hills of **Dakota.** (Engineering.)
1880. Henry Newton. — Geology of the Black Hills of **Dakota.** (*An rep. geol. and Res. Black Hills U. S. Geol. Survey.*)
1883. Albert Williams. — Mineral Resources of the United States.
1883. Storry Hunt. — The geology of **lake Superior.**
1884 H. Gunn. — On the silver districts of **Colorado.** (*Proceedings of the royal physical Society*, 1883-84, p. 155, 5 décemb.)
1884. Beco. — Zinc et cuivre aux Etats-Unis. (*Cuyper*, t. II, p. 129.)
1885. De Laveleye. — Plomb aux Etats-Unis. (*Cuyper*, t. V, p. 560.)
1887. Emmons. — Notes on the geology of Butte, **Montana.** (*Trans. of the amer. Inst. of mining engineers.*)
1888. Wheler. — Report upon explorations West of the 10° meridian.

Voir, en outre, les publications périodiques :

Mineral Resources of the United States et monographys du United States Geol. Survey (Washington).
The engineering and mining journal (New-York).
Journal of the Franklin institute (Philadelphie).
American journal of Science and Arts (New-Haven).
Boston Society of natural history (Boston).
American institute of mining Engineers. (Easton, Pensylvanie.)
Geological survey of Pennsylvania (Philadelphie).
Geological survey of Minnesota.
New-York academy of Science.
Bull. of the geolog. Soc. of America. (Rochester, N.-Y.)

FRANCE

CARTES INSÉRÉES DANS L'OUVRAGE

Carte de la région bitumineuse de l'Ain, fig. 36, I, 181.
Carte géologique du bassin d'Autun (Saône-et-Loire), fig. 37, I, 189.
Carte géologique au $\frac{1}{1\,000\,000}$, de la zone pyriteuse du Gard et de l'Ardèche, fig. 44, I, 292.
Carte des phosphates de chaux de Picardie, au $\frac{1}{2\,000\,000}$, fig. 60, I, 392.
Carte géologique de la région des environs de Rancié (Ariège), fig. 103, I, 667.
Carte géologique de la région de Diélette (Manche), fig. 119, I, 735.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Allophanes. **Oise** : Saint-Antoine, I, 614.
Alunite. **Puy-de-Dôme** : Madriat, près d'Issoire, I, 607. (Voir Schistes alunifères.)

AMBLYGONITE. **Creuse** : Montebras. I, 461.

ANTIMOINE. **Allier** : Nades, Bresnay. Montignat, II, 193 à 195. — **Ardèche** : *Malbosc*, II, 199; Charnus (dans les Cévennes), II, 204. — **Cantal** : Massiac, II, 196. — **Corrèze** : Chanac, près Tulle, II, 195. — **Creuse** : Villerange II, 195. — **Haute-Loire** : *Freycenet*, La Fage, Marmeissat, Chazelles, II, 196 et 197. — *La Licoulne* (Mercœur, Montel, Valadon), II, 197 et 198. — **Haute-Vienne** : Coussac-Bonneval, Glandon, II, 195. — **Loire** : Valfleury, II, 195.

ARDOISES. **Ardennes**. Fumay et Haibes. Rimogne et Darcy. Deville et Mouthermé, I. 231. — **Corrèze** : Donzenac. Alassac. I. 230. — **Finistère** : Chateaulin, I, 230. — **Ille-et-Vilaine** : Redon, I, 230. — **Isère** : Grenoble, I, 230. — **Maine-et-Loire** : Trelazé, Saint-Barthélemy. La Forêt. près Segré. I, 232. — **Manche** : Saint-Lô, Cherbourg. I. 230. — **Mayenne** : Renazé, I, 230; Chattemoue, I. 230. — **Meuse** : Blamont. I. 230. — **Orne** : Saint-Léonard, I, 230. — **Sarthe**. Saint-Georges-le-Gaultier. I. 230.

ARGENT. (Voir au plomb) **Isère** : Challanches; Grand-Clos; Chazelais au II, 779 à 781.

ARSENIC. **Meurthe-et-Moselle** : Sainte-Marie (Lorraine), II, 210.

ASPHALTES. **Ain** : *Seyssel* I. 204. — **Gard** : Les Fumades, Saint-Jean-de-Marvejols. Mas-Chabert. I, 209. — **Puy-de-Dôme** : *Pont-du-Château*. Les Roys, Lussat. I, 207; l'Escourchade. La Bourrière. Malintrat, I, 208.

BARYTINE. **Ariège** : Castelnau, Rimont. Camel, Caumont, I, 581.

BAUXITE. **Ariège** : Pereilhes. I, 595. — **Bouches-du-Rhône** : *Baux-de-Provence*. près Mouriès, I, 595 et 596. — **Cantal** : Boudes, Saint-Hérent, Augnat, I, 595. — **Hérault** : Saint-Chinian. Villeveyrac, Allauch, Le Revest, I, 597. — — **Lozère** : Mende, I, 595. — **Var** : Environs de Toulon, I, 597 et 598.

BISMUTH. **Corrèze** : *Meymac*, II, 161 et 162.

BITUME. **Ain** : Chézery. Confort. Seyssel. Orbagnoux, Corbonod, Anglefort, I, 182.

BOGHEADS ET CANNELCOALS. **Allier** : Commentry, I, 187.

CALCAIRES A CHAUX ET A CIMENT. **Côte-d'Or** : Pouilly-en-Montagne, I, 536. — **Gard** : Saint-Victor. I, 536. — **Pas-de-Calais** : Boulogne, I, 536. — **Yonne** : Vassy-les-Avallon, I. 536.

GALLIUM. **Hautes-Pyrénées** : Pierrefitte, II, 463.

CÉLESTINE. **Drôme** : Condorcet (Le Rouet), I, 585 à 587.

CHROME. **Var** : Bastide-les-Cascades, II. 40.

CORINDON. **Haute-Loire** : (Forez). I. 603.

CRAIE. **Seine** : Meudon et Bougival. I, 537.

CUIVRE. **Allier** : *La Prugne*, II, 242 à 244. — **Alpes-Maritimes** : II, 344. — **Ardèche** : Saint-Cierge, II, 429. — **Corse** : *Ponte alle Lecchia*, II, 241 et 242. — **Isère** : Alp (vallée de la Romanche), II, 277. — Saint-Etienne-de-Boisgorry, II, 277. — **Var** : II, 344.

EMERAUDE. **Haute-Vienne** : La Vilate, I, 240; Chanteloube, I. 240; Bessine, I, 240.

ETAIN. **Allier** : Les Colettes, II, 144. — **Creuse** : Montebras, II, 143. — **Haute-Vienne** : Vaulry, II, 142; Cieux, II, 143; Chanteloube et Saint-Léonard, II, 144. — **Loire-Inférieure** : Piriac, II, 157. — **Morbihan** : *La Villeder*, II, 136 à 142.

FER. **Ain** : Villebois, I, 784. — **Aisne** : Blangy, I, 789. — **Ardèche** : Valmy Saint-Romain, I, 730; Ailhon, Merzelet, Montgros, I, 771 à 774; Saint-Priest, Ferrières, etc., I, 784; *Privas* (Veyras, La Voulte, Le Lac), I, 786 et 787. — **Ardennes** : Neuvisy, I, 788; Grandpré, I, 789. — **Ariège** : *Rancié*, I, 685 à 690. — **Aveyron** : Framont, I, 766; Venzac, I, 784; *Mondalazac*, I,

785. — **Calvados** : Saint-Rémy, I, 737 et 738. — **Cher** (Berry), Aubois; Yevre et Arnon; Auron (La Chapelle-Saint-Ursin et Dun-le-Roi); Vallée du Cher (Saint-Florent et Chanteloup), I, 797 à 804. — **Côte-d'Or** : Thostes, Beauregard, I, 774; Chatillon-sur-Seine, I, 788. — **Côtes-du-Nord** : Salles et Quintus, I, 738. — **Doubs** : Metabief, I, 788. — **Gard** : *Palmesalade*, I, 766; Bordezac, Le Travers, Saint-Florent, Blannaves, I, 771 à 774; Pierre-Morte, la Côte-de-Comeiras, I, 788. — **Haute-Marne** : Nogent, I, 784; *Wassy*, I, 788 et 789. — **Isère** : *Allevard*, I, 693 et 694; La Verpillière, I, 784. — **Jura** : Ougney, Laissey, I, 785. — **Loire** : *Le Treuil*, près Saint-Etienne, I, 766. — **Loire-Inférieure** : Rougé, I, 733. — **Maine-et-Loire** : *Segré* (le Bois, l'Oudon, les Aulnais, la Ferrière, la Faille-Yvon, Marigné), I, 731 à 734. — **Manche** : Diélette, 734 à 737. — **Meurthe-et-Moselle** : *Groupe de Nancy*. Chavigny, Morbache, Ludres, La-Fontaine-aux-Roches, le Val-en-Fer, Boudonville, L'avant-Garde, Bouxières-aux-Dames, Maxéville, Laxon, Champignolles, La Grande-Goutte et Frouard; *Groupe de Longwy*. Herserange, Saulnes, Hussigny, Longlaville, Micheville, Mont-Saint-Martin, Lexy, Godbrange, Mexy, Senelle, le Mont-Chat, Moulaine et Villerupt; *Groupe de Briey*, I, 777 à 783; Saint-Pancré, Chavigny, Ville-Hondlemont, Florange, Russange, I, 806 et 807. — **Morbihan** : Sainte-Brigide, près Salles, I, 738. — **Nièvre** : Isenay, Vandenesse, Gimouille, I, 785. — **Orne** : Bourberouge, près Mortain, I, 738. — **Pas-de-Calais** : Bas-Boulonnais, I, 788. — **Pyrénées-Orientales** : *Canigou* (Batère, Ballestanes, la Pinouse, Sarrat Magre, Las Indis, Rogues Nègres, Bernado, Dalt, La Tour de Batère, Prades, Escaro Sud, Escaro Nord, Aytua, Thorrent, Sahorre, Vernet, Fillols), I, 676. — **Saône-et-Loire** : *Mazenay*, Changes, 774 à 777. — **Savoie** : *Saint-Georges-d'Hurtières*, I, 694 et 695.

GALLIUM. **Hautes-Pyrénées** : Pierrefitte, II, 463.

GRAPHITE. **Hautes-Pyrénées** : Barèges, I, 41. — **Morbihan** : Kergonano, I, 49. — **Vosges** : Val d'Andlau, I, 48.

GYPSE. **Allier** : Lurcy-Lévy, I, 560. — **Ariège** : Arnave, Avignac, Bédeillac, Betchat, I, 562. — **Basses-Alpes** : Digne, I, 563. — **Côte-d'Or** : Baulme-la-Roche, Mesmont, Ivry-en-Montagne, I, 561. — **Doubs** : Champvant, Beurre, Verne, Fins, I, 561. — **Hautes-Alpes** : Breziers, Théris, Notre-Dame-du-Lans, I, 566. — **Jura** : Salins, Arbois, I, 560, Grozon, I, 561. — **Meurthe-et-Moselle** (Lorraine) : Dieuze, I, 561. — **Nièvre** : Decize, I, 559. — **Saône-et-Loire** : Saint-Léger-sur-Dheune I, 562. — **Savoie** : Moutiers, Bourg-Saint-Maurice, I, 562. — **Seine** : Paris, Montmartre, Sannois, Enghien, I, 563 à 565.

HALLOYSITE. **Ariège** : Miglos, I, 613. — **Dordogne** : Laumède, I, 613. — **Eure** : Breteuil, I, 613. — **Finistère** : Huelgoat, I, 613. — **Seine** : Gentilly, I, 613. **Seine-Inférieure** : Forges, I, 613, — **Vaucluse** : Bolène, I, 613.

JAYET. **Aude** : Sainte-Colombe, Peyraz, Labastide, I, 50.

KAOLIN. **Allier** : Les Colettes et Echassières, I, 618 à 620. — **Dordogne** : *Les Eyzies*, près Queylon, 625 à 627. — **Haute-Vienne** : *Saint-Yrieix*. Coussac (Saint-Bonnet-la-Lande, Grand Bois, Sainte-Valérie, Saint-Antoine, Grand-Clos), Boisvicomte, Marcognac, I, 620 à 624. — **Nièvre** : Decize, Vaux, les Bruyères-Jaugery, Azy-le-Vif, Chantenay, la Barre, Claire-Fontaine, I, 625.

MANGANÈSE. **Allier** : *Gouttes-Pommiers*, près Saligny, II, 16. — **Ariège** : *Rimont*, II, 12. — **Hautes-Pyrénées** : Germ, Londervielle, Serre d'Azet, II, 11. — **Nièvre** : Luzy II, 16.— **Saône-et-Loire** : *Romanèche*, Grand-Filon, II, 13 à 16.

MARBRES. **Allier** : Diou, I, 546. — **Aude** : Caunes, I, 546. — **Basses-Alpes** : I. 546. — **Hautes-Alpes** : Chorges, Laur, Guillestre, Saint-Crépin, I, 546. —

Haute-Garonne : Saint-Béat, I, 546. — **Hautes-Pyrénées** : Campan, Barousse, Aspe, I, 546. — **Isère** : I, 546. — **Lot-et-Garonne** : I, 546. — **Mayenne** : Neuvillette et Grès-en-Bouère, I, 545. — **Meuse et Ardennes** : Chalines ou marbres de l'Argonne, I, 545. — **Nord** : Marpont, I, 545. — **Pas-de-Calais** : Boulogne-sur-Mer, I, 545. — **Sarthe** : Sablé et Joué-en-Charnie, I, 546. — **Vosges** : Chippsal, Laveline, Vackenbach, Russ, I, 546.

MERCURE. **Corse** : Balagna, près Occhia; Cap Corse, II, 683. — **Haute-Vienne** : Peyrat, II, 682. — **Hérault** : Près Montpellier, II, 683. — **Isère** : Lamure, près Pannières; Chalanches; Allemont, II, 682. — **Manche** : Le Menildot, II, 682.

MOLYBDÈNE. **Rhône** : Chessy, II, 177.

MONTMORILLONITE. **Vienne** : Montmorillon, Poitiers, I, 614.

NIOBIUM ET TANTALE. **Haute-Vienne** : Chanteloube, II, 464.

OR. **Cantal** : Bonnac, II, 972 — **Isère** : La Gardette, II, 972; Rhin, Rhône et Arve; Ariège, Garonne, Salat; Ardèche, Cèze, Gardon, Hérault, II, 972; La Voulte, Givors, II, 972; Saint-Pierre-de-Bœuf, Condrieu, Mirabel, II, 972.

PÉTROLE. **Hérault** : *Gabian*, I, 142. — **Isère** : Saint-Barthélemy, I, 141.. — **Puy-de-Dôme** : I, 142. Cf. I, cx.

PHOSPHATES DE CHAUX. **Allier** : Fins, I, 367. — **Ardèche** : Crussol, I, 373; Saut-de-l'Egue, I, 375. — **Ardennes** : Grandpré, Vaubécourt, I, 374. — **Aube** : Fouchères, I, 373. — **Cher** : Germigny, près La Guerche, I, 371. — **Côte-d'Or**. Montigny-sur-Armançon, I, 368. — **Deux-Sèvres** : Niort, I, 373; Saint-Maixent et Thouars, I, 391. — **Drôme** : *Saint-Paul-Trois-Châteaux*, Clausayes, I, 375. — **Gironde**. I, 400. — **Haute-Saône** : Chalindrey, I, 369; Pomoy, Vitrey, Auxon, I, 370. — **Indre** : Neuvy-Saint-Sépulchre. — **Manche** : Cotentin (Gourberville et Orglandes), I, 401. — **Meurthe-et-Moselle** : Neufchateau et Tomblaine, I, 369. — **Meuse** : I, 375. — **Nord** : *Pernes*, I, 389. — **Pas-de-Calais** : *Marquise*, I, 376; Ornille, I, 391. — **Sarthe** : Saint-Paterne, Dissay, Château-du-Loir, I, 390; Le Mans, la Ferté-Bernard, I, 391. — **Seine** : Auteuil, I, 400. — **Somme**. *Beauval*, I, 391. — **Var** : Bastide-Bazain, près Fréjus, I, 367; Poujet et Fréjus, I, 367; Draguignan, I, 367. — **Vosges** : Saudoncourt, I, 370.

PHOSPHORITES. **Aveyron** : Bozouls, I, 350. — **Lot** : (*Quercy*), Saint-Jean-de-Laur, I, 349. — **Tarn-et-Garonne** : (*Quercy*), Pendarè, I, 349; Caylus et Saint-Antonin, I, 349.

PIERRES DE CONSTRUCTION. **Aisne** : Festieux, Mont Ganelon, I, 534. — **Ardennes** : Dom-le-Mesnil, Chemery, Boulzicourt, Connage, I, 533; Chevillon, I, 534. — **Charente** : Marins, I, 533. — **Cher** : Saint-Amand, I, 532; Celle-Bruère, Vallenay, Lignières, Ambraull, I, 533. — **Deux-Sèvres** : Niort, I, 533. — **Doubs** : Besançon, I, 533. — **Isère** : Porte-de-France (Grenoble), I, 534. — **Jura** : *Sampans*, près Dôle, 533; Apremont, Charly, I, 353; Sainte-Ylie, *Damparis*, près Dôle, I, 533. — **Loiret** : Beaune-la-Rolande, Montargis, I, 534. — **Meuse** : *Enville*, I, 533; Lerouville, I, 533. — **Nièvre** : La Grenouille, près le Guétin, I, 533. — Pougues, I, 533; la Charité, I, 533. — **Oise** : Saint-Jacques, Crépy, Villers Cotteret, Cherence, Vallangoujard, Saillancourt, Mont-L'Evêque près Senlis, I, 534; Villers-Cotteret, I, 534. — **Orne** : *Allemagne*, près Caen, I, 533. — **Saône-et-Loire** : Mazenay (Creusot), I, 532. — **Seine** : Saint-Ouen, Champigny, I, 534. — **Seine-et-Marne** : La Ferté-sous-Jouarre, I, 534; Château-Landon, I, 534. — **Seine-et-Oise** : Montmorency, Rambouillet, Epernon, Palaiseau, I, 534. — **Vienne** : Thouars, I, 533; Chauvigny, I, 533. — **Yonne** : Vassy, I, 533. — Thisy, I, 533; Tonnerre, I, 534.

PLOMB. **Ariège** : Sentein Monconstans, Bentaillon ; le Seix, Pouech, Aulus, II, 518 et 519. — **Aveyron** : Villefranche et Asprières, II, 518. — **Corèze** : Chabrignac, II, 510 et 517. — **Corse** : Calenzana (Mont-Asinaio); Piétralba et Paterno, près Bastia; Argentella, II, 520 et 521. — **Finistère** : *Huelgoat* et *Poullaouen*, II, 505 et 506. — **Gard** : Notre-Dame-de-Laval, Le Rouvergue; les Malines, II, 514 et 515. — **Haute-Garonne** : Les Arguts, II, 519; Merst, Sarrasins, Montchabert, Bonvillard, II, 520. — **Haute-Loire** : Aurouze, près Paulhaguet, II, 515 et 516. — **Hautes-Pyrénées** : Pierrefitte, II, 518. — **Ille-et-Vilaine** : *Pontpéan*, II, 498 à 504; La Touche, II, 504. — **Indre** : La Châtre, II, 517. — **Isère** : Allemont et Challanches, II, 520. — **Lozère** : *Vialas*, II, 509 à 514; Buech et Pradal, Marvejols II, 515. — **Nièvre** : Corbigny et Chitry-les-Mines, II, 517. — **Puy-de-Dôme** : *Pontgibaud* (Pranal, La Brousse, Mioche, la Grange et Roziers); Chateauneuf, II, 506 à 509. — **Savoie** : Pesey et Macot, II, 520.

PYRITES. **Ardèche** : Soyons, I, 299. — **Ariège** : Les Cabanes, près de Vic-Dessos, Miclos et Olux, I, 290. — **Dordogne** : I, 290. — **Gard** : Saint-Julien-de-Valgalgues, I, 296; Le Soulier, I, 297. — **Rhône** : Chessy, I, 291 ; *Sain-Bel*, I, 293. — **Vosges** : Framont, I, 290.

SCHISTES ALUNIFÈRES. **Somme** : (Picardie), I, 606.

SCHISTES BITUMINEUX. **Allier** : Buxière, Saint-Hilaire, I, 195. — **Puy-de-Dôme** : Menat, I, 197. — **Saône-et-Loire** : *Autun*, I, 188 ; Igornay, Lally, Saint-Léger-des-Bois, I, 191 ; Le Ruet, La Comaille, Le Poisot, Dracy-Saint-Loup, Les Abots, Saint-Forgeot, Chevigny, Ravelon, Millery, Les Thelots, Surmoulin, Hauterive, I, 192.

SEL GEMME. **Doubs**: Miserey, Chatillon, Pouilley-les-Vignes, I, 482. — **Meurthe-et-Moselle** : (Lorraine), Sainte-Valdrée, Les Aulnois, Pont-de-Saint-Phlin et la Madeleine à Laneuveville; Art-sur-Meurthe ; Saint-Nicolas et Rosières à Varangéville; Dombasle, Portieux, Flainval, Corevic, Sommerviller, Maine, La Sablonnière et Saint-Laurent à Einville, I, 483 à 487.

SEL MARIN. Estuaire de la Loire, I, 471; estuaire du Rhône; Camargue, I, 471.

SOUFRE. **Var** : Manosque, I, 285. — **Vaucluse** : Les Tapels, près Apt, I, 285.

STRONTIANITE. **Ardèche** : I, 585. — **Gard** : I, 585. — **Lozère** : I, 585.

TITANE. **Isère** : Bourg d'Oisans, II, 98.

TOPAZE. **Creuse** : Montebras, I, 238.

TUNGSTÈNE. **Creuse** : Bourganeuf, II, 173. — **Haute-Vienne** : Saint-Léonard, Mondelisse, Nepoulas, Chanteloube, Vaulry, Cieux, *Puy-les-Vignes* (Plateau central), II, 172 et 173.

VANADIUM. **Saône-et-Loire** : Mazenay, II, 95.

ZINC. **Drôme** : Merglon, II, 429. à 431. — **Gard** : Alais (Clairac, Clarpon, Cendras, Rousson, les Pallières); Saint-Laurent-le-Minier, Les Malines (Malines et Castelnau); Les Avinières), Maudesse et Mas-Rigal; Fons Bouillans (la Grise, Maus de Beaugis, Mas la Combe, Coste-Durfort), II, 431 à 436.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1786. DIETRICH. — Les **Pyrénées**.
1805. PEUCHET. — Statistique élémentaire de la France, p. 350.
1806. LELIVRE. — Statistique des mines et usines du département du **Mont-Blanc** (*Journal des Mines*, t. XX, 2ᵉ série, 1806.)
1815. MANÈS. — Descript. géol. et indust. de la **Haute-Vienne**.
1823. DE CHARPENTIER. — Constit. géognost. des **Pyrénées**.

1828. THIRIA. — Minerais de la **Haute-Saône.** (*Ann. d. M.*, 2e série, t. V.)
1828. VOLTZ. — Géognosie des deux départements du **Rhin**, Strasbourg.
1834. ÉLIE DE BEAUMONT. — Faits pour servir à l'histoire des montagnes de l'**Oisans.** (*Ann. d. M.*, 3e, t. V, p. 3.)
1834. DUFRENOY. — Mémoire sur les terrains secondaires du Midi de la France. (*Ann. d. M.*, 3e, t. V. p. 326.)
1834. THIRIA. — Sur les minerais du **Doubs.**
1835. SCIPION GRAS. — Statistique de la **Drôme.**
1840. SCIPION GRAS. — Statistique des **Basses-Alpes.**
1841. ÉLIE DE BEAUMONT ET DUFRENOY. — Explication de la carte géologique de France.
ÉMILIEN DUMAS. — Statistique géologique du **Gard.**
BONISSENT. — Essai géologique du département de la **Manche.**
1842. SAUVAGE ET BUVIGNIER. — Statistique géologique du département des **Ardennes.**
1842. LE CHATELIER. — Statistique du département de **Maine-et-Loire.**
1843. GUIBAL. — Statistique du département de la **Meurthe.**
1843. FRANÇOIS. — Minerais de fer des **Pyrénées.**
1831 et 1844. GUEYMARD. — Minéralogie et géologie de l'**Isère.**
1844. BOULANGER. — Statistique géologique de l'**Allier.**
SÉNARMONT. — Description géologique de **Seine-et-Oise.**
1845. BURAT. — Gîtes métallifères.
1845. CACARRIÉ. — Description géologique du département de **Maine-et-Loire.**
1845. DUMAS. — Carte géologique de l'arr. d'**Alais** (Gard).
1846. LEYMERIE. — Statistique géolog. de l'**Aube.**
1847. MANÈS. — Statistique minéralogique du département de **Saône-et-Loire.**
1847. GRAVES. — Topographie géognostique de l'**Oise.**
1847. Mines métallifères de l'**Aveyron** (Langlois et Leclercq, édit.).
1848. BOUCHEPORN. — Cartes géologiques du **Tarn** et de la **Corrèze.**
1849. BUTEUX. — Esquisse géologique du département de la **Somme.**
1851. LEVALLOIS. — Aperçu de la const. géol. du dép. de la **Meurthe.**
1852. BUVIGNIER. — Stat. géol. minér. et paléont. du dép. de la **Meuse.**
1852. DAUBRÉE. — Description géologique du **Bas-Rhin.**
1852. BAISE. — Gîtes métallifères de l'**Aveyron.** (*Ann. d. M.*, 5e, t. II, p. 467.)
1853. NIVOIT. — L'industrie des **Ardennes.**
1854. SCIPION GRAS. — Terrains anthracifères des **Alpes** et de la **Savoie.** (*Ann. d. M.*, t. V.)
1854. LAN. — Mines de plomb, argent et cuivre de la **Lozère.** (*Ann. d. M.*, 5e, t. VII, p. 351.)
1854. LAN. — Descrip. des gîtes métallif. de la **Lozère** et des Cévennes occid. (*Ann. d. M.*, 5e, t. VI, p. 401.)
1855. TERQUEM. — Paléontologie du département de la **Meurthe.**
1856. DELESSE. — Matériaux de construction.
1856. VILLENEUVE FLAYOSC. — Descr. géol. du **Var.**
1857. DROUOT. — Gîtes de houille des environs de Forges et la Chapelle-Sous-Dune gîtes de manganèse de **Romanèche** (1 vol. et Atlas).
1857. GRÜNER. — Description géologique de la **Loire.**
1858. BOISSE. — Esquisse géol. et carte géol. de l'**Aveyron.**
1858. BAULIN. — Stat. géol. du dép. de l'**Yonne.**
1860. ALLUAUD. — Aperçu géologique et minéralogique sur le département de la **Haute-Vienne.**
1862. SCIPION GRAS. — Statistique de **Vaucluse.**
1866. DELBOS et KŒCHLIN-SCHLUMBERGER. — Description du **Haut-Rhin.**
1867. LECOQ. — Epoques géologiques de l'**Auvergne,** 5 vol.
1868. D'ARCHIAC. — Paléontologie de la France, p 306.
1868. LEDOUX. — Etude sur le triasique et le jurassique et les gisements des minerais de fer de l'**Ardèche.**
1869. MALLARD. — Carte géol. et agron. du dép. de la **Haute-Vienne.**
1870. BURAT. — Géologie appliquée.
1870. JACQUOT. — Esquisse géol. et min. de la **Moselle.**
1870. JACQUOT. — Description géol. du **Gers.**

1870. Mussy. — Ressources minérales de l'**Ariège**. (*Ann. d. M.*, 6e, t. XVII.) Carte géologique de l'**Ariège**.
1872. Delmas. — Constitution de l'**Ardèche**.
Jacquot, Terquem et Barré. — Géologie de la **Moselle**.
1873. Meugy et Nivoit. — Statistique de l'arrondissement de Vouziers (**Ardennes**).
1874. Moissenet. — Parties riches des filons.
1874. Limur. — Catal. raisonné des minéraux du **Morbihan** (Vannes).
1874. Rey-Lescure. — Esquisse géol du dép. de **Tarn-et-Garonne**.
1875. von Lasaulx (trad. Gonnard.) — Roches de l'**Auvergne**.
1875. Lorieux. — Résumé des ressources minéralogiques du départ. de la **Loire-Infér.**
1875. Caillaux. — Description des mines métall. et des comb. min. de la France.
1876. Jayot. — Statistique des **Landes**.
1878. Tirloir. — Gît. mét. du **Dauphiné**. (*Bull. Soc. Et. Sc. Nat. Nîmes*, 6200.)
1878. Exposition de Paris. (*Notice du corps des Mines.*)
1878. Caralp. — Etudes géologiques sur les hauts massifs des **Pyrénées centrales**.
1878. Jordan. — L'industrie du fer en France.
1878. Braconnier. — Description géologique de **Meurthe-et-Moselle**.
1841-1879. Elie de Beaumont et Dufrenoy. — Explication de la carte géologique de France.
1883. Braconnier. — Terrains de **Meurthe-et-Moselle**.
1885. Chansselle. — Géologie et richesses minérales de l'arrondissement de Vienne (**Isère**). (*Bull. Soc. Ind. min.*, 2e, t. XIV, p. 627. Saint-Etienne, 1885.)
1886. Cousin. — Sur l'industrie minérale dans le département de **Meurthe-et-Moselle**.
1886 Stuart Menteath. — Gîtes métall. des **Pyrénées occid.** (*B. S. G.*, 3e, t. XIV, p. 587.)
1875-1877. Sarran d'Allard. Carte géologique de la région d'**Alais**.
1887. Viguier. — Etude géologique sur l'**Aude**.
1887. Bleicher. — Guide du géologue en **Lorraine**.
1889. Gosselet. — **L'Ardenne**.
1890. Le Verrier. — Formations géologiques du **Forez** et du **Roannais**.

Voir, en outre, les publications périodiques :

Compte rendu de l'Académie des sciences.
Annales des mines.
Bulletin (depuis 1889), Mémoires et Cartes du service de la Carte géologique.
Statistique annuelle de l'Industrie minérale.
Bulletin et mémoires de la Société géologique.
Bulletin de la Société minéralogique.
Bulletin de la Société de l'Industrie minérale (Saint-Etienne).
Bulletin des anciens élèves de l'Ecole des mines (Paris).
Revue universelle de Liège.
Nature, Génie civil, Nouvelles géographiques, Revue scientifique, Société chimique, Journal de chimie et pharmacie, etc.
Delesse, Laugel et de Lapparent. — Revue de géologie.
Annuaire géologique Dagincourt.

GRANDE-BRETAGNE et IRLANDE

CARTES INSÉRÉES DANS L'OUVRAGE

Carte géologique d'Angleterre, au $\frac{1}{600\,000}$, fig. 70, I, 488.

Carte géologique du Cornwall, au $\frac{1}{1\,000\,000}$, fig. 186, II, 114.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Antimoine. **Cornwall** : Trevatham, Padstow, près d'Endellyon; Saint-Kew; Liskeard, II, 200.

ARDOISES. **Pays de Galles** : Penrhyn, I, 236; Dinowic, I, 246; Festiniog (Palmerston, Llechwald, Cwn Orthin, etc.), I, 236; Corris, I, 236; Naulle, I, 237; Llangollez, I, 237.

ARSENIC. **Cornwall** : Greenhill, II, 209. — **Devonshire** : Devon Great Consols Copper mine, II, 209.

BAUXITE. **Irlande** : Belfast, I, 595.

BISMUTH. **Cornwall** : East Pool et Illogan, II, 164.

BOGHEADS ET CANNELCOALS. **Ecosse** : Bathvale, Bogheade, Torbane Hill, I, 187.

CÉLESTINE. **Gloucestershire** : Aust-Ferry, près Bristol, I, 587.

COBALT. **Flintshire** : *Voel Hiraddog*, près Rhyl, II, 76, 88, 89 et 90.

CUIVRE. **Cornwall**, II, 112 à 127.

EMERI. **Jersey** : I, 605.

ETAIN. **Cornwall** : Michaels Mount près Penzance, South Tolcarne, South Condurrow, Wheal Grenville, West Basset, Wheal Basset, Last Basset, West Frances, South Frances, South Carn Brea, Whealring, Persevance, East Wheal Lovell, près Redruth ; Park of mines, près Saint-Colomb; Old Huel Vivien ; Old Hewas mine, II, 112 à 127.

FER. **Cumberland** : Eskdale ; Keltonfell, Knokmurton ; Millon, Water-Blean ; Parkside, Crossgill, High House mine, Bigrigg, Hod-Barrow, Montréal ; Millyeat, I, 752 à 760. — **Ecosse** : I, 766. — **Lancashire** : Comté de Furness, Lindal Moor, Stank Askam ; Park, Roanhead I, 760 à 763. — **Pays de Galles** : I, 76 6. — **Staffordshire** : I, 766.

FLUORINE. **Derbyshire** : I, 308. — **Devonshire** : Tamar Silver Lead, I, 308.

GRAPHITE. **Cumberland** : *Borrowdale*, I, 48; Cummoch, I, 48.

GYPSE. **Derbyshire** : I, 562; Chellaston, I, 563; — **Nottinghamshire** : I, 563. — **Staffordshire** : I, 563. — **Sussex** : I, 563.

JAYET. **Yorkshire** : *Whitby*, I, 50.

MANGANÈSE. **Cornwall** : II, 12. — **Devonshire** : II, 12. — **Merionetshire** : Harlech, Moelfre, Hafodty, Barmouth, II, 10. — **Northwales** : Abergele, II, 13.

MERCURE. **Ecosse** : II, 707 et 708.

MOLYBDÈNE. **Cornwall** : II, 176. — **Cumberland** : Invernenshire et Calbecktell, II, 176. — **Ecosse** : Leadhills, II, 177.

MONTMORILLONNITE. Reigate, I, 614.

NICKEL. **Ecosse** : Craignuir, près Inverary (Argyleshire), II, 75. — **Merthyr-Tydril**, II, 75. — **Flintshire** : *Voel Hiraddog*, près Rhyl, II, 76.

OR. **Cornwall** : Davidstowe, II, 908. — **Ecosse** : Crawford, Leadhills, II, 908. — **Irlande** : Ballinvalley, II, 908; Ballymurtagh, II, 908. — **Pays de Galles** : Gwynfyndd, Old Ygra, Clogau, Prince de Galles, Cefn, Coch, Berkllwyd, Cefn-denddwr (Merionetshire), II, 907 et 908.

OZOCÉRITE. Urpeth, I, 155.

PHOSPHATES DE CHAUX. **Bedfordshire** : *Sandy*, I, 378. — **Cambridge** : Ely, I, 379. — **North Wales** : *Berwyn*. (Calc. de Bala), I, 360. — **Suffolk** : *Suffolk*, I, 379; Lutton, I, 400. — **Sussex** : I, 373.

PLOMB. **Derbyshire** : Kniviton, Pearsons Venture, Glory mine, Oldend, II, 614 à 618. — **Flintshire** : II, 617.

SEL GEMME. **Cheshire** : Northwich, I, 489 à 496. — **Durham** : Newcastle, I, 489. — **Irlande** : Carrickfergus, I, 496.

TOPAZE. **Cornwall** : Huelkind, près Saint-Agnès, I, 238. — **Irlande** : Mourne mountains, I, 238.

Tungstène. Cornwall: *East Pool*, près Redruth; Truro, Saint-Austell, Tavistock, II, 172.
Uranium. Cornwall : Redruth, II, 180.
Vanadium. Cheshire : II, 96.
Zinc. Cumberland : Neuthead, II, 417. — **Denbigshire** : Minera, II, 417.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1778. Price. — Mineralogia cornubiensis.
1790. Reise von London in die Grafschaft **Cornwall**. (*Köhlers Journal*, 1790.)
1811. Farey. — A general view of the agriculture and minerals of **Derbyshire**.
1811. Berger. — On the physical structure of **Devonshire and Cornwall**. (*Trans. geol. Soc.*)
1813. Thomson. — Observations minéralogiques sur le **Cornwall**. (*Annal. of philosophy*, p. 247.)
1820. Boué. — Essai géologique sur l'**Ecosse**.
1835. Philipps. — Géologie du **Yorkshire**.
1839. Dufrenoy et Elie de Beaumont. — Voyage métallurgique en Angleterre.
1843. Henwood. — On the metalliferous deposits of **Cornwall** and **Devon**. (*Trans. geol. Soc.*)
1849. Tooke. — Topographie minérale de l'Angleterre dans le *Mining Almanack*.
1859-65. Sapwith. — On the Lead mines of *England*. (*Proceedings of the geologist's associations*, t. I, p. 312, London, 1859-65.)
1873. John Jones. — Sur la géologie du district sidérurgique du **Cleveland**, *Cuyper*), t. XXXIV, p. 67.)
1878-80. White.— On rocks and minerals in **Cornwall**. (*Transactions of the geological Society of Glasgow*, t. VI, p. 217. Glasgow, 1878-80.)
1879. — Die Bergwerke von **Devonshire** und **Cornwall**. (*B. u. H. Z.*, 1879, p. 374.)
Carew. — Survey of **Cornwall**.
1881. de Gournay et Mathet. — Voyage en Angleterre. (*Soc. Ind. minérale*, 2e, t. XIII, p. 74.)
1883. Robert Hunt. — Mineral statistics of the United Kingdom.
Percy (traduction Petitgand). — Traité de métallurgie. Description des minerais de fer de la Grande-Bretagne (t. II, p. 543.)

Voir, en outre, les publications périodiques :

The quarterly Journal of the geological Society (London).
Journ. Min. Soc. of great Britain and Ireland.
Proceedings of the Liverpool geological Society.
Mining Journal (London).
Journ. of the r. geol. Soc. of Ireland.
Transactions of the geological Society of Cornwall.
Institution of civil Engineers (London).
Royal irish Academy (Dublin).
Royal Society of Edinburgh.
Iron. The journal of science, metals and manufactures (Londres).
The journal of the Iron and Steel Institute (Londres).
North of England institute of mining and mechanical Engineers (Newcastle upon Tyne).
Midland institute of mining Engineers (Barnsley, Yorkshire).

GRÈCE et ARCHIPEL

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Alun. Ile de Milo, I, 607.
Bauxite. Ile de Naxos, I, 595.

Chrome. Ile d'Eubée, II, 37. — Ile de Mételin, II, 37.
Cuivre. Epidaure, près Dimaina (Morée),II, 242.
Emeri. Ile de Naxos, I, 605.
Giobertite. **Ile d'Eubée** : *Mandoudi*, Kimasi, Kalamaki, I, 573 et 574.
Marbres. Paros, Pentélique, Naxos, Chio, Thasos, Syra, Antiparos, I, 546.
Plomb et Zinc. **Attique** : *Laurium*, II, 375 à 387.
Soufre. Isthme de Corinthe, I, 284; Milo, Kalamaki, I, 284.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1859. Raulin. — L'île de Crête.-3 vol.
1860. Gaudry. — Carte géologique de Chypre.
1867. — — Carte géologique de l'Attique.
1878. Cordella. — La Grèce sous le rapport géologique et minéralogique. (In-8, 188 p.)

GROENLAND

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Cryolite. *Evigtock*, baie d'Arksut, I, 600.
Fer natif. Ovifak, I, 653.
Niobium et Tantale. II, 464.

GUYANE FRANÇAISE

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Or. Le Maroni, La Maria, Pas-trop-tôt, Le Sinnamary, Saint-Elie, Adieu Wat, le Maluni, l'Approuague; Montebo, près Cayenne, II, 986 à 989.

HONDURAS

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Or. Santa-Cruz (Province de Santa Barbara), II, 942.

INDE

CARTE INSÉRÉE DANS L'OUVRAGE

Carte de l'Inde (gisements diamantifères), fig. 6, I, 30.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Cobalt. **Jaipur** : Babai, Bagor et Singhana (Rajputana), II, 90 ; Nepal et Burma, II, 90.
Corindon. Golconde, Bellary, Malabar, I, 602.
Cornaline. **Bombay** : Barotch, I, 224.

DIAMANT. **Bengale** : Sambalpur, I, 29. — **Burmah** : Yenau-Gyoung, I, 143; Cheduba, I, 143; Ramrée, I, 143; Kingswells, I, 143. — **Inde Centrale** : Panna, I, 29. — **Makum** : I, 143. — **Nisam**. *Kadapah*, I, 29; *Bellary*, I, 29; *Karnul*, I, 29; *Randapali*, I, 29.

EMERAUDE. Canjargum, I, 240.

MARBRES. Delhi, Gya, Jyepore, Joudpore, Ginnevilly, Assam, Ducha, I, 547.

MOLYBDÈNE. Chutia Nagpur, II, 177.

NICKEL **Arvali** : Oodeypoore, II, 69. — **Jaipur** : Rajputana; Khetri; Bhangarh, II, 70.

OR. Godavery (riv.), (Godalore ou Mungapet]; Ouli (riv.), (Talchir); **Ladak, Kandahar**; **Chutia-Nagpur**, (Mandhum, Singhbhum, Gangpur, Jashpur); **Madras**, (Wynaad); **Mysore**, (Chamrajnuggar), II, 980 à 982.

SEL GEMME. **Pendjab** : Saltranges, I, 475; Bahadur-Khel, I, 500.

TURQUOISES. I, 411.

ZIRCON. Madras, III, 464.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1841. JACQUEMONT. — Voyage dans l'Inde.
1869. GRANDIDIER. — Voyages dans les prov. mérid. de l'Inde. (*Tour du monde.*)
1874. ROUSSELET. — L'Inde des Rajahs.
HACKET. — Useful min. of the Arvali reg. (*Geol. Sur India*, 13, 4, 248.)
1881. BALL. — Les diamants et l'or dans l'Inde. (1 vol. in-8°.)
1884. BALL. — On the mode of occurrence of precious Stones and metals in India. (*Rep. of the fifty-fourth meet. of the brit. ass. for the adv. of sc.* Montréal.)
Voir, en outre, publications (Rec. et Mem.) du geological survey of India.

ISLANDE

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

SOUFRE. Reykjalid, I, 264; lac Myvatu, I, 265.

ITALIE

CARTES INSÉRÉES DANS L'OUVRAGE

Carte géologique de la zone pétrolifère de l'Emilie, fig. 21, I, 132.
Carte des gites de soufre de Sicile, fig. 38, I, 266.
Carte de la Sardaigne minière, fig. 241, II, 388.
Carte géologique et minière de l'Iglesiente (Sardaigne), fig. 242, II, 389.
Carte géologique et minière du Sarrabus, au $\frac{1}{150\,000}$, fig. 353, II, 771.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

ACIDE BORIQUE. **Toscane** : Larderello, près Volterre, Lago Zolfereo, près Montecrotondo, I, 251.

ALBATRE. **Ligurie** : Val di Marmolago près Castellina, I, 568. — **Ombrie** : Volterre, I. 568. — **Toscane** : Carrare, I, 568.

ALUNITE. **Naples** : Vésuve, Ischia, I, 607. — **Province de Rome** : *La Tolfa* (Cave-Vecchie, Clementina, Verdone, Romani, Valperella, Trinita, Rotella, Providenza, Trincere, Cava-Grande, Monte delle Grazie, Paura, Gangalandi, Forno, Bianca), I, 607 à 612.

AMBRE. **Sicile** : Catane, Gianetta, I, 453.

AMIANTE. **Saint-Gothard** : Val Tremola, I, 229.

ANTIMOINE. **Toscane** : Pereta, Monte-Auto (Vallée de Tafone), Cettine di Cotorniano et Tocchi (Sienne), II, 203.

ARDOISES. **Côte de Gênes** : I, 230.

ARGENT. **Sardaigne** : Sarrabus, près Campidano, sur l'Ogliostro (Baccu-Arrodas, Perd'Arba, Monte-Narba, Giovanni Bonu, Masaloni, Bonita, Tacconis, etc.), Rio-Ollastu (Sarcilone), II, 769 à 776.

ASPHALTES. **Sicile** : Ragusa, Leporino, I, 214.

BAUXITE. **Piémont** : Mozzo, I, 595.

COBALT. **Piémont** : Paschietto, Cruvin près Bruzolo (Val de Sesia), II, 83. — **Sardaigne** : Monte-Narba, II, 83.

CORINDON. **Piémont** : Mozzo, I, 603.

CUIVRE, **Lombardie** : Val Sabbia, Val Sassina, Val Trompia, II, 273 à 275. — **Toscane** : *Monte-Catini*, II, 236 à 239; *Rocca Tederighi*, II, 239 et 240; *Siestro-Levante*, II, 240; *Monte-Calvi*, II, 240; II, 235 à 241. — **Vénétie** : Agordo, II, 302 et 303.

EMERAUDES. **Ile d'Elbe** : I, 240.

ETAIN. **Ile d'Elbe** : II, 150. — **Toscane** : Cento Camarelle, Monte Valerio, la Cavina, près *Campiglia Maritima*, II, 149 et 150.

FER. **Ile d'Elbe** : *Rio-Albano*, *Rio et Vigneria*, *Terra Nera*, *Calamita*, I, 808 à 815. — **Piémont** : Cogne (Val d'Aoste), I, 657; *Traverselle* (Riondello, Castiglione, Gias del Gallo), I, 671 à 673. — **Sardaigne** : Saint-Léon, Miragu, I, 744.

MANGANÈSE. **Piémont** : Saint-Marcel, Tourgnon, Val Tournanche, Bardonèhe, (Val d'Aoste et Val Tournanche), II, 9 et 10. — **Sardaigne**. *Capo Rosso* (Ile de San Piétro), II, 25 et 26.

MARBRES. Serravezza. Strazzema, I, 546; Carrare, I, 546, 550 à 553.

MERCURE. **Toscane** : Levigliani et Ripa près Seravezza, Iano près Volterra, Monte Amiata (Castelazzara), Selvena, Santa-Fiora, Pian Castagnaio, Castel del Piano, Abbadia San Salvadore, Monte Fate près San-Giuliano, Siele et Cornacchino), II, 699 à 704. — **Vénétie**. Vallalta près Agordo, II, 697 et 698; Forni Avoltri (Mont Avanza), Spessa, Peralloa, Frioul, II, 698 et 699.

MOLYBDÈNE. **Piémont** : Macchetto et Traverselle, II, 177.

NICKEL. **Piémont** : Mont-Cruvin (Commune de Bruzolo), Besighetto (Commune de Balme), Mezzenile, Cabianca, Usseglio, Balme, Val Sesia, Val Barbina (Commune de *Scopello*), *Varallo*, Valmaggia, Cevia (dans le val Sorba), Locarmo, Parone, Sella Bessa (Val Sesia inférieur), (Province de Novare), II, 65 à 67. — **Sardaigne** : Fenegusibiri (Commune de Gonos-Fanadiga), II, 67 et 68.

OR. **Piémont**. *Val Anzasca*, (*Val Toppa*, *Pestarena*, *Battigio*), au-dessous de Macugnaga (Mont Rose), II, 904 à 905; Sesia (riv.), Doire Baltée (riv.), Soanna (riv.), Orco (riv.), le Pô (fl.), à Front, Rivarossa, Lombardose, San Benigno, etc., II, 974 et 975.

PÉTROLE. **Abruzzes** : Tocco, Letto Manopello, Val Romano, Pianto dei Monachi, I, 134; etc. — **Province de Parme** : *Salso Maggiore*, Miano, Ozano, I, 433; Neviano dei Rossi, I, 434. — **Province de Rome**. *Amaseno*, I, 135.

PIERRES LITHOGRAPHIQUES. **Ligurie** : Diano-Marina (Madonna-del-Rovere, Calderina, Varcavello, Ferreli), I, 542 et 543.

PLOMB. (Voir au zinc) **Sardaigne** : 387 à 412. — **Toscane** : Bottino près Seravezza, Gallena, l'Argentière, la Versilia, II, 559 à 561.

SEL MARIN. **Province de Rome** : Civita Vecchia, I, 471. — **Sardaigne** : Cagliari, I, 471. — **Sicile** : Trapani, I, 371. — **Vénétie** : Venise, I, 471.

SOUFRE. **Province de Naples** : I, 282. — **Province de Rome** : Latera, Sorofane. Canale, I, 264 ; I, 282. — **Romagne** : Cesana, I, 282. — **Sicile** : (Province de Palerme), Lercara, I, 267; Monts Madoine), Racalmuto, Solfare Giona, Caltanisetta (Solfare Giordano), Grottacalda, Muglia (Solfare Muglia), Sommatino, Aragona, Montedore, Gibellina, Licata (Solfare Virdilio), I, 267 à 281;

ZINC. **Lombardie** : *Ponte di Nossa* (Oneta, Dossena, Oltro il Colle, Gorno et Premelo), près Bergame, II, 426. — **Sardaigne** : Iglesias (*Monte-Vecchio*, San-Giovanni, San-Benedetto, Malacalzetta, Nebida, *Monteponi*, *Malfidano*, Baueddu, Planu Dentis, Sedda Cherhi, Cucuru Faris), Nura près d'Alghero, II, 387 à 412.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1796. DE SAUSSURE. — Voyage dans les **Alpes** (Neuchâtel.)
1822. BREISLAK. — Descr. geol. de la prov. de **Milano**.
1839. LA MARMORA. — Description de la **Sardaigne**.
1845. BURAT. — Mines d'Algérie et de **Toscane**.
1865. Théod. HAUPT. — Traité sur les mines de **Toscane**.
1868. PELLATI. — Relaz. Ind. min. (*Statist. Regno Italia*). (Firenze.)
1871. QUINTINO SELLA. — Sulla condizione dell. ind. min. dell isola di **Sardegna**.
1871. COCCHI. — Descr. geol. dell' isola d'**Elba**.
1872. D'ACHIARDI. — Mineralogia della **Toscana**.
1873. JERVIS. — Tesori sotterranei d'Italia.
1877. BOMBICCI. — Contrib. miner. ital.
1881. MARINONI. — Miner. del Fruili.
BARETTI. — Stud. geol. sul gruppo del **Gran Paradiso**. (*Mem. R. Ac. Lincei.*
1882. GÉRIN. — I tesori... (Les richesses minérales de l'Italie, 3e partie (Sardaigne et Sicile). (1 vol. in-8° 539 p. Turin.)
14 juin 1883. LOTTI. — Carte géol. de l'île **d'Elbe**. (*Mém. à la Soc. tosc. des Sc. naturelles.*)
1883. BRAUN. — Rapport sur la **Sardaigne**.
1883. D'ACHIARDI. — I metalli, loro minerali e miniere.
1883. CZYSKOWSKI. — Explor. des régions ferrif de l'île d'**Elbe**.
1886. BALDACCI. — Memorie descritive della carta geol. d'Italia. (Isola di **Sicilia**.)
1886. BECO et THONARD. — L'ind minér en Italie. (*Cuyper*, t. XI, XII, XIII et XIV.)
1886. LOTTI. — Memorie descr. della carta geol. d'Italia. (Isola d'**Elba**.)

Voir, en outre, les publications périodiques :

Relazione sul Servizio minerario.
Memorie R. Academia dei Lincei.
Proc. verb. Soc. Tosc. Sc. Nat (Pisa).
Bulletino della comission geologica d'Italia.
Statistica del Regno d'Italia.
L'Industria (Milan).

JAPON

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

ARGENT. **Ile de Sado** : (Torigoi, Aobau, Hiakumai), II, 832. — **Province de Rikuchu** : Kosaka, II, 833. — **Province de Tajima** : Ikuno, II, 833. — **Province de Ugo** : (Innai, II, 833.

MERCURE. **Hirado** : Shizu, Ainoura, II, 710. — **Rikuzen** : Sendai, II, 710.

PÉTROLE. Kusodzu, I, 144.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1874. COIGNET. — Richesses minérales du Japon. (*Bull. ind. min.*, 2e, t. III, p. 473.)
1884. *Cuyper.* t. I et II.

Périodiques :

Geological Survey of Japan.
College of Science. Imperial Universitey (Tokyo).

MALAISIE ET ILES DE LA SONDE

CARTE INSÉRÉE DANS L'OUVRAGE

Carte des gisements diamantifères de Bornéo, fig. 7, I, 32.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

ANTIMOINE. **Bornéo** : Tambusan et Tagui près Sarawak, II, 201.

DIAMANT. **Bornéo** : Kapoeas, Bandjermassin, I, 32.

ETAIN. **Bangka** : II, 152. — **Billiton** : II, 152. — **Malacca (presqu'île de)** : Mahlembu, Guntang, Kekak, Kliang-Baru, Petai-Chabang-Pernibilan et Cleydang (district de Krista), royaume de Pérak, II, 148 et 149. — **Pérak** : Soungi Kréan, Selama, Larout, Haut et bas Pérak, Soungi Slim, II, 152 à 156.

MERCURE. **Bornéo** : Tegora (Sarawak), II, 710. — **Java** : Samarang, II, 710. — **Sumatra** : Allahan Pandjang, II, 710.

OR. **Sumatra** : Mandahling; Soupayang, II, 983.

PLATINE. **Bornéo** : Chaîne des Ratons, II, 1001.

TUNGSTÈNE. **Malacca (presqu'île de)** : II, 174.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1853. CRAUFARD. — On the geography of Borneo. (*J. of the R. geogr. Soc. of London.*)
1865. VAN DIEST. — Bangka beschreven in Reistagen.
1874. ENERETT. — Notes on the distribution of the useful mineral in Sarawak.
1875. VEERBECK. — Gisements de Bornéo. (*Jahrbuch von het mijniwesen im Oost Indie.*)
1879. T. REYER. — Banka und Bilitong. — *Oester. Zeit. und Hutt.*, t. XXVII.)
1881. VEERBECK. — Zur Geologie von Sumatra und Java. (*N. J. für. Miner. Geol. u. Paleont.*, nos 1 et 2, t. I, p. 94. Stuttgart, 1881.)
DE MORGAN. — Carte de la vallée de Perak. (Malacca.)
1886. DE MORGAN. — Note sur la géologie et sur l'industrie minière du royaume de Perak et des pays voisins. (Malacca.) (*Ann. d. M.*, 8e, t. IX, p. 368.)
Th. POSEWITZ. — Geologie von Bangka. (*Mittheilungen der K. und geol Anstalt*, t. VII, p. 155. Budapest.)
891. CHAPER. — Notes sur Bornéo. (*B. S. G.*, 3e, t. XIX, p. 877.)

MEXIQUE

CARTE INSÉRÉE DANS L'OUVRAGE

Carte de la région des mines d'argent au Mexique, fig. 369, II, 812.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

ANTIMOINE. **Sonora** : II, 202,

ARGENT. **Catorce** : San Augustin, etc., II, 821 et 822. — **Fresnillo** : Nieves, Noria de Angeles, Ojo Coliente, Candelaria, San Miguel, II, 822 et 823. — **Guanajato**. *Veta Madre*, La Luz. San Barnabé, La Valenciana, Rayaz, II, 824 et 825. — **Morelos** : San Francisco, Huauntla (San Francisco Peregrina, Esperanza, Santiago, San Esteban), près Tlalchichilpa, Santa Anna, II, 827 à 829. — **Pachuca** : Rosario, Veta Viscayna, El Chico, II, 825; Guadalupe del Oro, *Sultepec*, Zacualpan, Temascaltepec, *Malacate* (Le Capulin, Le Pascual, Conception, Providencia, Veta Nueva), II, 825 à 827. — **Real del Monte** : II, 825. — **Sonora** : Carmen près Tetoachi, II, 818 à 821. — **Zacatecas** : Cantera, Quebradilla, El Bote, Mala Noche, Veta Grande, II, 823 et 824.

BISMUTH. Guanajato, II, 166.

CUIVRE. **Basse Californie** : *Boleo*, II, 349 à 352.

ETAIN. Durango, II, 147.

GRAPHITE. **Sonora** : Montagnes noires du Dakota I, 46.

MERCURE. San'onofrio, Guadalcazar et Charcas (Saint-Louis de Potosi), Huitzuco, Guerrero (Sinaloa), Loma de Encinal, Maltrata, Sierra Gorda (Guanajato) Guadalupe de los Reyes, II, 723 et 724.

OPALE. Zimapan, Queretaro, Lucretaro, I, 225.

OR. San Juan de Reyes, Guarisamey et San Dunas (Durango), II, 926.

PÉTROLE. **Vera Cruz** : Lake Culco, I, 92.

PHOSPHATES DE CHAUX. Ile de Redonda, I, 410.

SOUFRE. Popocatepelt, I, 263.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1813. SAINT-CLAIR DUPORT. — Le Mexique.
1843. DUPORT. — De la production des métaux précieux au Mexique. (1 vol., chez Firmin-Didot.)
1868. Gisem. métall. de Basse-Californie. (*Cuyper*, t. XXIII, p. 284.)
1869. GUILLEMIN-TARAYRE. — Exploration des régions mexicaines.
1871. LAUR. — Métallurgie de l'argent au Mexique. (*Ann. d. M.*, 6e, t. XX, p. 38.)
*1884. SANTIAGO RAMIREZ. — Noticia historica de la Riqueza minera de Mexico.
1889. Ant. del Castillo. — Carte géologique et carte minière du Mexique au $\frac{1}{3\,000\,000}$.

NOUVELLE-CALÉDONIE

CARTE INSÉRÉE DANS L'OUVRAGE

Carte géologique de la Nouvelle-Calédonie, fig. 176, II, 50.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

CHROME. Mine Gasconne, II, 38.

NICKEL. Honailou, Koua, Kouaoua, Canala, Thio, Brandy, Nakéty, Kanaoua, II, 49 à 59.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1867. GARNIER. — Essai sur la géologie et les ressources minérales de la Nouvelle-Calédonie. (*Ann. d. M.*, 6e, t. XII, p. 1.)
1876. HEURTEAU. — Richesses minérales de la Nouvelle-Calédonie. (*Ann. d. M.*, 7e, t. IX, p. 235.)
1878. RATTE. — Roches et gisements métallifères de la Nouvelle-Calédonie.
1878. RATTE (F.). — Nôte sur les roches et gis. mét. de la Nouvelle-Calédonie, et catal. explic. de la coll. envoyée à Paris en 1878. (In-8°, 39 p. Nouméa.)

NOUVELLE-ZÉLANDE

CARTE INSÉRÉE DANS L'OUVRAGE

Carte des gisements d'or d'Australasie, fig. 382, II, 913.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

MERCURE. Lac Omapere près de la baie d'Island, II, 727.

OR. Coromandel; Thames (Aucklana); Otago; Westband; Nelson, II, 918 et 919.

PLATINE. Tayaka (riv.), II, 1001.

TUNGSTÈNE. Waipori et lac Wakatipu, II, 174.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1887. MALFROY. — The Handbook of New-Zealand mines.
VON HOCHSTETTER. — New-Zealand.

Périodique : Trans. a. proc. New-Zealand. Inst.

PALESTINE

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

BITUME. **Judée** : Mer Morte, I, 161; le Lisan, I, 161; Waddy Sebbeh, I, 172; Wady Mahawat, I, 173; Nebi Mussa, I, 173; Hasbeya, I, 174.

TURQUOISES. **Sinaï** : Vallée de Megara, I, 413.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1870. LARTET. — Essai sur la géologie de la Palestine, etc. (*Ann. des Sc.* geol, t. I, p. 5.)
1877. LARTET. — Exploration géologique de la Mer Morte. (Chez Arthus Bertrand, 332 p.)

PAYS-BAS

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Bitume. Bentheim, I, 170.

PÉROU

CARTES INSÉRÉES DANS L'OUVRAGE

Carte des nitrates de soude du désert d'Atacama, fig. 65, I, 421.

Carte de l'Amérique du Sud, au $\frac{1}{60\,000\,000}$, fig. 376, II, 842.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Argent. Choca; Cajamarka (Hualgayoc, Guamachuco, Conchucos); Cerro de Pasco (Santa Rosa, Yanacancha, Cayac, Mataderia, Champimarca, Yauricoca, Paccha, Patarcocha, Tingo); Castro Virreina (Huanca Velica); Purro; Union (Arequipa); Jarapaca ou Tarapaca (Huantajaya), II, 829 à 832. — **Département d'Anchaes** : Recuay (Collaracua, Tarujos); Huaraz, II, 854. et 855.

Bismuth. Mathilde, près Morococa, II, 164 et 165.

Etain. *San-Luis-de-Potosi*, II, 50.

Mercure. Chonta; Cajamarka; Ancachs; Yauli; *Huancavelica* (Santa Barbara); Ayaviri, II, 725 et 726.

Nitrate de soude. *Rio Loa*, I, 422.

Or. Saint-Thomas (Liberdad); Montes Claros (Arequipa-Union); Inambari, Mucumayo, Aporuma (Sandia et Casabaya (Puno), II, 929.

Pétrole. Zorritos, I, 93.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1854. Rivero. — Houille du Pérou. (*Ann. d. M.*, 5e, t. VII, p. 459.)
1870. d'Achiardi. — Minerali e rocce del Peru.
1878. Raimondi. — Min. Pérou. (Paris.)

PERSE

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Bitume. **Kurdistan** : Zaho, I, 175.

Mercure. Zendjan, II, 708.

Sel gemme. Karakhauh, I, 517; Ile de Kishm, I, 517; Hormuz, 517; Larak, I, 517; Pohal, I, 517; Jabel, I, 517; Bostana, I, 517; Hameran, I, 517.

Turquoises. *Nichapour*, I, 411.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1888. Scharizer. — Ueber persische Bleierze (*Verhand. d. K. K. geolog. Reichs.* Vienne.

PORTUGAL

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Celestine. Coïmbra Côte Quinios et Buarcos . I. 587.

Cuivre. *S in Domingos*. II. 300 et 301. — **Alemtejo** : La Caveira. II. 301.

Etain. **Alemtejo** : Prata près Casa-Branca. II. 199 et 200 ; Elvas, II. 277. — **Oporto** : Tapada. Gondomar, Lixa. Corcega. II. 188. — **Zamora** : Zamora. II. 146.

Fer. **Alemtejo** : San Thiago près Casa-Branca (Serinha et Nogueirinha), I. 728 et 729.

Graphite. Pinheiro. I. 41 ; Viseu. I. 48.

Marbres. Estrennas. Alemtejo. I. 546.

Phosphorites. Portalegre et Marvao. I. 344.

Phosphates de chaux. Monte-Reale. I. 373.

Périodique : Communicaçoes da Seccao dos trabalhos geologicos de Portugal (Lisbonne).

ROUMANIE

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Pétrole. Départements : de **Bacau** : *Moineshti*, I. 118; *Solontz*, I. 119. — de **Buzeu** : *Kampina*. Monterou. I, 118. — de **Dambovitza** : *Tirgoviste*, I, 118. — de **Rimnik** : Govora. I, 118.

Sel gemme. Slanic, Buzeu, Rymnik-Sarat, Kampina. Telega, Tirgoviste et Baïcoi, I, 502 à 505.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

Cobalcescu et Tietze.— Géologie de la Roumanie. (*J. d. K. K. g. R. in Wien.*)
1888. Cremer. — Richesse minérale de la Roumanie. (1 vol. in-8°, 72 p.)

RUSSIE

CARTES INSÉRÉES DANS L'OUVRAGE

Carte de Russie (gisements phosphatés), fig. 59, I, 383.

Carte géologique de la région pétrolifère de Bakou, presqu'île d'Apcheron (Caucase), fig. 16, I, 96.

Carte géologique de la région pétrolifère du Kouban (Taman), fig. 19, I, 110.

Carte des mines de manganèse du Caucase au $\frac{1}{282\,000}$. fig. 167, II, 19.

Carte de la région platinifère d'Avrorzinski (district de Nijni-Taguil), fig. 390, II, 999.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Ambre. **Courlande** : I, 153; Kiew, I, 153; Mer Blanche, I, 153.

Arsenic. **Sibérie** : II, 210.

Asphaltes. **Samara** : Sisran, II, 215.

Célestine. Sernajagora, I, 587.

Chrome. **Oural** : Goroblagodatsk, II, 39 et 40.

Cobalt. **Caucase** : Daschkessan, près Ielisawetpol, II, 90. — **Oural** : Rewdansk, près Ekaterinenbourg, II, 83; *Nijni-Taguil*, II, 90.

Corindon. **Oural** : Monts Ilmen, I, 603. — **Sibérie** : Kornilowsk, I, 604.

Cryolite. **Oural** : Miask, I, 600.

Cuivre. **Caucase** : *Kiadebeck*, *Akhtala*, Tchamlouk, Allahverdi, Artane, Katar, II, 345 à 348. — **Oural** : Bogoslowsk (Frolow, Wasiliewsk, Sukhodoïsk, Saint-Michel-Archange), (Bogoslowsk), II, 245 à 247; Nijni-Taguil (Mednoroudiansk), II, 247 à 251; Ekaterinenbourg (Ekaterinenbourg, Gumechewsk), II, 251 et 252; Kargalinsk (Orenbourg), II, 327 et 328. — **Perm** : Santagoul, II. 327 et 328.

Emeraude. **Sibérie** : Altaï, I, 240; riv. Tokowoia, près Ekaterinenbourg, I, 240; côte Est du lac Ilmen, 240; monts Adun Tschelon, I, 240.

Fer. **Ekaterinoslaw et Kherson** : Krivoï-Rog (Tchernaia, Morahava, Galadova, Kan di Crina, Laubovaia), I, 738 à 742. — **Oural** : Visokaja-Gora, près Nijni-Taguil, Blagodat, Lebiajinsk, I, 664 à 671. — **Pologne** : Dombrowa (Huta Bankowa), I, 769. — **Tauride** : Korsake-Moguila (District de Berdiansk), I, 742.

Gemmes diverses. **Oural** près Miask, Monts Ilmen, I, 247; Ekaterinenbourg, Chaïtanka, I, 248; Tourinsk, I, 248; Mednoroudiansk, I, 248; Goumechewks, I, 248; Sanarsk près Troitsk, I, 248; Krestowosdwigensk, près Biserk, I, 248. — **Sibérie** : Strétensk, I, 248; la Takowaia, I, 248; Mursinsk, I, 248; Alabaschka, I, 248; Süsükowa, I, 248; Sarapulki, I, 248; Kornilowsk, I, 248.

Graphite. **Sibérie** : *Mont Batougol*, Touroukhansk, I, 41; Nijni-Tongowsk près Krasnoïarsk, I, 49.

Grenat. **Oural** (District de Sisertsk), Polewsk, I, 246.

Jaspe. **Sibérie** : Kolyvan, I, 225.

Jayet. I, 50.

Manganèse. **Caucase** : *Kviril*, Tchiatoura. II, 17 à 22.

Mercure. **Caucase** : Daghestan, II, 707. — **Donetz** : *Nikitoffka*, près Bachmut, II, 707. — **Sibérie**. Berezowsk, Miask, Bogolowsk; Idle Kansk (Nertschinsk, II, 708 et 709.

Mica. **Sibérie**, I, 226.

Nickel. **Oural** : Rewdansk, près Ekaterinenbourg, II, 59. — **Sibérie** : Régions de l'Oural et de l'Altaï, II, 69.

Or. **Altaï** : Yenisseisk (riv.) Noiba (riv.), Kalamy (riv.), (Narkizofsky), Ogne (riv.), Gavrilof, Aktolik (riv.), Uderey (riv.) (Uspensky, Voskresensky); Talaia (riv.), Grand Pit, Grand Murojnaia; Minusinsk, Olekminsk, II. 875 à 877 et 980. — **Oural**: *Berezowsk*, II, 902; Orenbourg, Miask, Nijni-Taguil,

Bogoslow (Tchernoiet-chenski, Petschenis, **Meslonki**), II, 978 à 481. — **Transbaïkalie** : Amour (fl.), II, 981.

Ozozérite. **Caucase** : *Ile Tscheleken*, I, 155.

Phosphates de chaux. **Novgorod** : Rives de la **Mtsa**, I, 361. — **Podolie**. Bords du Dniester, I, 361; Smolensk et Roslawl, I, 382; Briansk-Orel, I, 383; Koursk, I, 384; Woronège, I, 385; Tambow, I, 385; Sparsk, I, 385; Saratow, I, 386; Nijni-Novgorod, I, 386; Moscou, I, 387; Kiew, I, 387; Grodno, I, 387; Podolie, I, 387. — **Saint-Pétersbourg**, I, 361.

Pétrole. **Caucase** : Presqu'île d'**Apcheron**, *Bakou*, I, 94 à 109. — Gouvernements : de **Tiflis**, I, 94. — D'**Elisabethpol**, I. 94. — Du **Térek**, I, 94. — Du **Daghestan**, I, 94. — Le **Kouban** (*Taman*), *Illsk*, etc., 109 à 116. — **Crimée** : Kertsch, I, 94.

Platine. **Oural** : Nijni-Taguil; Avrorinsk; Goroblagodatsk; Bisersk, II, 996 à 1000.

Plomb. **Sibérie** : Sarvodinskoi, (Nertschinsk); Zmeoff ou Schlangenberg, près Smeinogorsk, Salais et Zyrianofosk (Kolivan ou *Altai*); Kirgis, le Caucase, II, 561 à 563. — **Turkestan** : Karemazar, près Chodschent, II, 562 et 563.

Pyrophyllites. **Oural** : Beresowsk, I, 614.

Sardoines. **Sibérie** : Nertschinsk, II, 225.

Sel gemme. **Arkhangel** : Vladitchensk, Ousk, Loudsk, I, 475. — **Lacs d'Astrakhan**. Eltone, I, 519; Baskountchak, I, 520. — **Lacs de la mer d'Azow** : Jasensk, Okhtarsk, Otchouevsk, Tamane, I, 520. — **Lacs de Crimée** : Guenitchesk, Perekop, Eupatorie, Théodosie et Kertsch, I, 520. — **Lacs de la mer Noire** : Kissbourn, Kouialnik, Hadjibei, I, 521. — **Lacs du Manitcsh** : Grondskoe, Staromanytch, I, 521. — **Novgorod**. Staraïa-Roussa, Novaïa-Roussa, I, 475. — **Perm** : Deduchkine, Lenvensk, Novoousolié, Ousolié, Solikamk, Beresnine, I, 478. — **Pskow** : Senoska, I, 475. — **Vologda** : Thotma, I, 477; Ledengsk, I, 477.

Soufre. **Kasan** : Sukeevo, I, 285; Tzarevtschina près Samarskaïa Louka et Sergiefsh sur la riv. Sok, I, 285. — **Pologne** : Tcharkow ou Czarkowo, I, 284.

Titane. **Finlande** : Pickaranta, II, 98. — **Oural** : Monts Ilmen, près Miask, II, 98.

Topaze. **Orenbourg** : Rivière Sanarka, I, 239. — **Oural** : Alabaschka, près Mursinka, environs d'Ekaterinenbourg, I, 238. — **Sibérie** : Monts Adun Tschelon, 238; Monts Ilmen près Nertschinsk, I, 238.

Uranium. **Sibérie** : Miask, II, 180.

Zinc. **Finlande** : Etkis, près Enniskilen, II, 448. — **Pologne** : Boleslaw, Sosnowice, II, 458.

Zircon. **Oural** : Monts Ilmen, près Miask, II, 464.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1833. Kupfer. — Voyage dans l'**Oural**, Paris.
1838. Verneuil. — Mém. géol. sur la **Crimée**. (*Mém. soc. géol. fr.*, 1re série, t. III.)
1839. Koulchine. — Etude géologique sur la province de **Kherson**. (*Journal des Mines*, t. I, p. 29.)
1841. Chtchourowski. — L'**Oural** (Moscou).
1842. Rose. — Reise nach dem **Ural**.
1848. Murchison. — Geol. de la Russie d'Europe. (Trad. en allemand par Leonhard.)
1848. Meglizky et Antipow. — Descr. géogr. de l'**Oural** du Sud.
1864. d'Abich. — Etude sur les presqu'iles de **Kertsch** et **Taman**. (*B. S. G.*, 2e série, t. XXI, p. 259.)

1868. Hoffmann. — Mater. z. Anfert. ein. geol. Karte des **Uralgeb.**
1869. Barbotte de Marny. — Aperçu géologique de la Province de **Kherson.**
1873. Yermolon. — Recherches sur les gisements de phosphate de chaux fossile en Russie.
1875. Laskine. — Aperçu général de l'arr. de **Krasnoyansk.**
1868-76. Skalkovsky. — Tableaux statistiques de l'industrie des mines en Russie de 1868 à 1876.
1877. Mouchketow. — Mater. pour l'étude de la struct. géogn. et des rich. min. du district de **Slataouste.**
1878. Mouchketow. — Les richesses minérales du **Turkestan russe,** in-4°, 34 p., 1 pl. Paris, 1788. (*Département des Mines de Russie.*)
* 1878. Département des Mines du Ministère du Domaine de l'Etat. (Exposition universelle de Paris en 1878.) — Aperçu des richesses minérales de la Russie d'Europe. In-4°, 151 p. 1 pl. Paris, 1878.)
1878. Val von Moeller. — Carte des gîtes miniers de la Russie d'Europe, 2 f.
1879. Chaper. — Sur quelques faits observés dans le massif de l'**Oural.** (*B. S. G.*, t. VIII.)
1879. Chaper. — Note sur le Nord de l'**Oural.** (*B. S. G.*, 3°, t. VIII, p. 110, 1er déc. 1879.)
1892. Leproux. — Richesses minières du Caucase. (*Ann. d. M.*)

Périodiques :

Journal des Mines de Russie (1795-1800).
Comité géologique de Russie (St-Pétersbourg).

SCANDINAVIE

CARTES INSÉRÉES DANS L'OUVRAGE

Carte géologique et minière de Scandinavie, fig. 108, I, 704.
Carte géologique de la région de Norberg, fig. 109, I, 709.
Carte géologique de la région de Dannemora, fig. 110, I, 715.
Carte géologique de la région d'Ammeberg, fig. 265, II, 441.
Carte géologique du district minier de Kongsberg, fig. 350, II, 757.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Antimoine. **Suède** : Sala et Gladhammar, près Westerwick, dans le Westmannland, II, 200.

Apatite. **Norvège** : *Oddegarden*, près Bamble, I, 329.

Argent (voir au plomb). **Norvège** : *Kongsberg* (Overberg, Kongensgrube, Hülfsgrube; Vinoren, Hovedgrube; Underberg), II, 755 à 768.

Arsenic. **Norvège** : Skutterud, II, 210. — **Suède** : Fahlun; Norköping; Nyköping; Gladhamar, II, 210.

Bismuth. **Norvège** : *Modum*; Gzellebach; Bléka, près Mogen, II, 163 et 164. — **Suède** : Fahlun, II, 163.

Bitume. **Norvège** : Kongsberg, I, 171. — **Suède** : Norberg, I, 171.

Chrome. **Norvège** : Röraas, II,40.

Cobalt. **Norvège** : *Skutterud*, près Modum, II, 86. — **Suède** : Tunnaberg, près Nyköping; Gladhamar (Bonde, Holtandare, Svensk, Odelmark, Knut), près Westerwick; Vehna, près Orebro, II, 87.

Cuivre. **Norvège** : Telemark, II, 272 ; *Röraas* (Storvartsgrube, Nysolskinsgrube,

Muygrube, Christiansgrube, Kongensgrube, II, 287 à 291; Foldal, II, 291 et 292; Vigsnæs, II, 292 à 295. — **Suède**. Fahlun, II, 282 à 287.

FER. **Norvège** : *Côte d'Arendal* (Nœskilen, Hvideberg, Tromö, Klodeberg, Braastad; groupes de Stohlberg et de Langse et Gomœ), I, 657 à 659. **Suède** : *Taberg*, près Jonköping, I, 656 ; *Gellivara*, *Norberg*, *Striberg*, *Grangesberg*; *Persberg*, Nordmark, Dalkarsberg, Kallmora, Rällingsberg, Stenring, Nyäng; Klackberg. Langvick, Skimarang, *Dannemora*; Svartberg, Hillang; Svappavara, Luosavara, Folberg, I, 702 à 719.

MERCURE. **Norvège** : Kongsberg, II, 707. — **Suède**, II, Sala, II, 707.

MICA. **Norvège** : Ile de Queen, I, 226.

MOLYBDÈNE. **Norvège** : Arendal, II, 176. — **Suède** : Eckholmen (Ile d'). II, 176.

NICKEL. **Norvège** : Val d'Espedal (Söndre-Gubransdal) ; *Ringérike* et Bamble près Skien ; Rousas (Smaland) ; Kragerö, II, 62 à 65. — **Suède** : Legmyra (Kopparberg), II, 63 et 64; Klefva (Smaland), II, 64.

NIOBIUM ET TANTALE. **Suède** : Ytterby, II, 464.

OR. **Norvège** : Bömmelö (Hardanjerfjord); Eiswold, près Christiania, II, 909.

PLOMB. **Suède** : Sala, II, 611 à 614.

PYRITES. **Norvège** : *Vigsnæs*. I, 289 ; Röraas, II, 287 à 291 ; Foldal, II, 291.

SCHISTES ALUNIFÈRES. **Suède**, I, 606 et 607.

THALLIUM. **Suède** : Skrikerum, II, 463.

TITANE. **Norvège** : Kragerö (Tvedestrand), Egersund, II, 98.

URANIUM. **Norvège** : Vale, II, 180. — **Suède**. Finbo et Brodbo, près Fahlun, II, 181.

ZINC. **Suède** : *Ammeberg*, II, 440 à 448

ZIRCON. **Norvège** : Brevig, II, 464.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1807. HAUSSMANN. — Reise durch Skandinavien.
1816. DE BUCH. — Voyage en Norvège.
1826. HISINJER. — Miner. Geogr. von Schweden.
1841. DUROCHER. — Voyage en Scandinavie, Laponie, Spitzberg, 1838 à 1840, 2 vol.
1843. DAUBRÉE. — Mémoire sur les dépôts métallifères de Suède et Norvège.
1848. DUROCHER. — Gites métallifères de Suède, Norvège et Finlande. (*Ann. d. M.*, 4e, t. XV.)
1856. Sur la géologie de la Suède, de la Norvège et de la Finlande. (*B. S. G.*, 2e, t. X, p. 529 et t. XIV, p. 342.)
1860. KJÉRULF. — Udsight over det Sydlige Norges Geologi.
1866. Exposé de la situation des industries minières en Suède. (*Ann. d. M.*, 6e, t. XIII, p. 463.)
1866. KJÉRULF. — Carte géologique de la Norvège méridionale.
1871. KJÉRULF. — Om Trondhjems Stifti Geologie.
1878. Bureau géologique de Suède. — La carte géologique de Suède et ses envois à l'Exposition universelle de Paris en 1878, avec une description succincte des formations géologiques de la Suède. (In-8°, 57 p. Stockholm, 1878.)
1883. NORDENSTRÖM. — L'industrie minière en Suède.

Périodiques :

Geologiske foreningens i Stockholm.
Sveriges geologiska undersökning.
Publ. du serv. de la carte géologique de Suède et de Norvège.
Institut royal géologique de Suède (Stockholm).
Arch. f. Mathematik og Naturvidenkat.

SAN DOMINGOS

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Phosphates de chaux. Alta Vela, I, 410.

SERBIE

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Cuivre. Maïdan-Pek, II, 259.
Fer. Kuczaina, Rudnik, Majdanpek, I, 661; Rundaglava, Tschemaka, II, 670.
Manganèse. Kragabasch, II, 25.
Mercure. Mont Avala près Belgrade, II, 706.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

824. Usines de plomb de la Serbie. (*Bull. Ann. d. M.*, 6e, t. IX, p. 628.)

SUISSE

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

Ardoises. Platsberg, I, 230.
Asphaltes. **Canton de Neuchatel** : *Val Travers*, I, 210; Saint-Aubin, I, 212; Bellegarde, I, 212; Epoisats, près Vallorbes, I, 212; Noraigue, I, 213.
Célestine. Bex, I, 587.
Cobalt. **Valais** : Val d'Annivier, II, 83.
Corindon. **Valais** : Saint-Gothard, Brunnen, I, 603.
Cristal de roche. Saint-Gothard, I, 223.
Cuivre. **Glaris** : Mürtschenalp, II, 277. — **Valais** : Sierre, II, 277.
Jayet. **Canton de Berne**, I, 51.
Nickel. **Valais** : Omberanza; Kaltberg; Plantorenz; Zerbitzen, Grand-Paz, Gollyre, près de Ayer, dans le val d'Annivier, II, 74 et 75.
Or. *Gondo*, II, 904.
Phosphates de chaux. Einsiedeln, I, 401.
Titane. Finbo, II, 98; Saint-Gothard, II, 98.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1881. Deshayes. — Gites métallifères des Alpes valaisiennes. (*Génie civil.*)
Wiser. — Jahrbuch für Mineralogie von Leonhard. (*Minéraux de la Suisse.*)
Périodique : Eclogæ geologicæ Helvetiæ.

TRINIDAD (Iles de la)

CARTE INSÉRÉE DANS L'OUVRAGE

Carte géologique de la Trinidad, fig. 26, I, 163.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

BITUME. *Lac de la Braie*, I, 165; Guaracaro, I, 167.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1860. WALL et SAWKINS. — Rapport sur la géologie de la Trinité.
1878. W.-O. CROSBY. — Physical geography and geology of the Island of Trinidad. (*Proceedings of Society of natural history*, t. XX, p. 44. Boston, 1878.)

TUNISIE

CARTE INSÉRÉE DANS L'OUVRAGE

Carte des gisements miniers de la Tunisie, 62, I, 402.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

FER. Tabarca, I, 818 à 821.

GYPSE. I, 567.

OR. Sidi Boussaib près Carthage, II, 986.

PHOSPHATES DE CHAUX. Gafsa, I, 401; Le Kef, Beja, Kif Larouri, Djebba, Zaghouan, I, 403.

PLOMB. Djebel Reças, II, 651.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1893. AUBERT. — Carte géologique de la Tunisie.

TURQUIE D'EUROPE et ASIE MINEURE[1]

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

ALUNITE. **Arménie** : Caucase arménien, I, 607.

ANTIMOINE. Smyrne, II. 201.

BITUME. **Albanie** : *Selenitza*, I, 176.

BORACITE. Sultan Tchair, I, 256 et I, CXI.

CHROME. Dagh-Hardi (commune de Guargueli), Boz-Beliu (district de Domanitsch), Topouk (région d'Adranaz), (Olympe de Bithynie), II, 36 et 37; ile de Mételin, II, 37.

EMERI. **Smyrne** : Gumach-Dagh près d'Ephèse, I, 605.

MAGNÉSITE. *Esky-Scheir* (Kemikli, Ieni-Damar, Karadjouk, Sarisu, Inum, Esoftscha, Nemli), I, 575 et errata, I, CXI.

MERCURE. **Albanie** : Prisreu, II, 706; Smyrne, II, 708.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

1846. BOUÉ. — La Turquie d'Europe, 2 vol.
1881. TOULA. — Geologie des Balkans. (*Sitzungber. d. K. Ak. der Wissensch.* Vienne,

[1] Voir, plus haut, Grèce et Archipel.

URUGUAY

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

. TACUAREMBO; San Pablo (Santa Ernestina), II, 910.
RDOINES. I, 225.

VÉNÉZUÉLA

CARTE INSÉRÉE DANS L'OUVRAGE

rte de la région du Callao (Guyane Venezuelienne), fig. 376, II, 897.

GÎTES MINÉRAUX DÉCRITS

VRE. II, 277.
. *El Callao*, près Guacipati et Nueva-Providencia, II, 896 à 902.
ROLE. Punta-de-Araya, I, 145.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DE LA RÉGION

0. PLANAD. — Guayana et ses mines. (*Cuyper*, t. XXVII, p. 258.)
3. PLAXT. — Descr. of minerals and ores from Venezuela. (*Memoirs of the literary and philos. Society*, 3e série, t. XII, p. 113.)
8. BEL. — L'industrie minière au Vénézuela en 1887. (*Bull. Ecole des Mines*, p. 36.)

BIBLIOGRAPHIE

DES

OUVRAGES GÉNÉRAUX RELATIFS AUX GITES MÉTALLIFÈRES

Sur les **gites métallifères connus des anciens**, on peut consulter, outre PLINE l'ANCIEN (Histoire naturelle. Livres XXXIII et XXXIV), SENÈQUE, ARISTOTE, etc. : ROSSIGNOL. — Les métaux dans l'antiquité, 1863; DAUBRÉE. — Les mines métalliques de la Gaule (Rev. Arch. 1881), etc; BLÜMNER. — Technologie und Terminologie der Gewerbe und Künste bei Griechen und Römern, t. IV. Leipzig, 1886.

Pour le **moyen âge**, voir :

MARBODUS : DE GEMMIS.

1260-1280. ALBERT LE GRAND. — Tabula tabularum parvorum naturalium Alberti magni

1265. TEIFASCHI. — La fleur des pensées sur les pierres précieuses (journal Asiatique 1868, n° 1).

1505. BERGBÜSCHLEIN DE KALBUS (traduit par M. Daubrée. Journal des savants, juin 1891).

1530. Bermannus, Sive de re metallica, Bâle.

1530-1546. AGRICOLA. — De Re metallica.

1853. POUCHET. — Histoire des sciences naturelles au moyen âge. Paris.

1856. SIMONIN. — De l'exploitation des mines et de la métallurgie en Toscane pendant l'antiquité et au moyen âge (Ann. d. M. 5°, t. XIV, p. 557.)

1885. BERTHELOT. — Origines de l'alchimie (Steinheil,).

1888. BERTHELOT. — Introduction à la Chimie des anciens et du moyen âge.

1892. L. DE LAUNAY. — Histoire de l'industrie minière en Sardaigne (Ann. d. M. 1892). Cf. : Industrie du cuivre dans la région d'Huelva (Ann. d. M. 1889) et article *Ferrum* dans le Dictionnaire des antiquités grecques et romaines.

1892. NEUBURG. — Gosslars Bergbau bis 1552. Ein Beitrag zur Wirtschafts und Verfassungs Geschichte des Mittelalters. (Hanovre, Hahn, in-8°.)

1563. BERNARD PALISSY. — Récepte véritable par laquelle tous les hommes de la France pourraient apprendre à multiplier et augmenter leurs trésors. (La Rochelle.)

1664. DESCARTES. — Principes de la philosophie.

1749. BUFFON. — Théorie de la terre.

1757. *Blasii Caryophili* opusculum de antiquis auris, argent, stamni, etc. (traduit en Allemand dans la 3e partie du Magasin für die Bergbaukunde.

1759. LEHMANN. — Traité de la formation des métaux. Dresde, 1783.

1768. Encyclopédie, t. VI. Travail des mines.

1847. Bischof. — Lehrbuch der physikalischen und chemischen Geologie.

1849. Durocher. — Sur les gîtes métallifères et leur formation (C. R., XXVIII, p. 607).

1849. Breithaupt. — Paragenesis der Mineralien. (Freiberg.)

1849. Rivière. — Mémoire sur les filons métallifères. (B. S. G., 2e, VI, p. 171.)

1849. Fournet. — Remarques au sujet de la formation des filons métallifères. (B. S. G., 2e, V, p. 513.)

1856. Gœtschmann. — Die auf und untersuchung nutzbarer Mineralien. (Freiberg, 1856 et 2e édit., Leipzig, 1866.)

*1859-1861. V. Cotta. — Die Lehre von den Erzlagerstätten. (2e édit.)

1869. G. Grimm. — Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien. (Prague.)

*1870. Burat. — Traité des minéraux utiles. (2 vol., 5e édit.)

*1871. Henwood. — On metalliferous deposits. — (Mém. de la Soc. géol. du Cornwall, t. VIII, 1re et 2e partie), avec description spéciale des gisements de l'Inde, du Chili (Chañarcillo, Copiapo), du Brésil (Minas Geraes), de l'Amérique du nord (Michigan), de l'Angleterre, etc.

1872. Naumann. — Lehrbuch der Geognosie.

1874. Moissenet. — Parties riches des filons. (Etudes sur les filons du Cornwall.) (1 vol. chez Dunod.)

1874. de Lapparent. — Note sur l'ouvrage de Moissenet, intitulé : Parties riches des filons (B. S. G., 3e, II, p. 82)

1876. Garnier. — Etude sur les filons métallifères. (Ind. Min., 2e, XI, p. 995.)

1878. Serlo. — Leitfaden zur Bergbaukunde. (3e édit. Berlin.)

1878. Favre (Alph.). — Expériences sur les effets des refoulements ou écrasements latéraux en géologie. (Arch. sc. phy. et nat., t. LXXII.)

1878-79. Daubrée. — Sur l'influence des cassures terrestres, particulièrement des diaclases, sur le relief du sol. (Bull. Soc. géol., 3e série, t. VII, p. 61).

1878-79. Daubrée. — Application de la méthode expérimentale à l'étude des déformations et des cassures terrestres. (B. S. G., 3e série, t. VII, p. 108.)

1878-79. Daubrée. — Application de la méthode expérimentale à l'étude des caractères de divers ordres que présente le relief du sol. (B. S. G., 3e série, t. VII, p. 141.)

1878-79. Daubrée. — Expériences sur l'action et la réaction exercée, sur un sphéroïde qui se contracte, par une enveloppe adhérente et non contractile. (Bull. Soc. géol., 3e série, t. VII, p. 152.)

1878-79. A. de Lapparent. — Sur la disposition générale des reliefs du globe terrestre. (Bull. Soc. géol., 3e série, t. VII, p. 346.)

1878-79. de Chancourtois. — Observations sur la disposition générale des reliefs du globe terrestre. (Bull. Soc. géol., 3e série, t. VII, p. 253.)

*1879. V. Groddeck. — Traité des gîtes métallifères. (Traduc. Küss, 1884.)

*1879. Daubrée. — Etudes synthétiques de géologie expérimentale. (1re partie, in-8e, 470 p. Paris, 1879.)

1879. Daubrée. — Alignements réguliers des joints ou diaclases dans les couches tertiaires des environs de Fontainebleau. (C. R., t. LXXXIX, p. 624.)

1881. Daubrée. — Etudes expérimentales sur l'origine des cassures terrestres. (Annuaire du Club alpin français, 3e année, p. 351. Paris, 1881.)

1881. Daubrée. — Sur les réseaux de cassures ou diaclases qui coupent la série des terrains stratifiés. (Comptes rend. Acad. des Sciences, t. XCII, nos 8 à 15, 21 février, 11 avril 1881, p. 393.)

1881. Zeiller. — Les produits de l'exploitation des mines et de la métallurgie ; section I, substances minérales et métaux précieux. (In-8e, 108 pages.)

1881-82. Daubrée. — Cassures de l'écorce terrestre. (B. S. G., 3e série, t. X, p. 137.

*1881. Sandberger. — Untersuchungen, etc. (Recherches sur les filons métallifères.) (Wiesbaden.)

1882-83. Parran. — Relations des cours d'eau avec les systèmes de fractures, failles et filons. (B. S. G., 3e série, t. XI, 244, Paris, 1882-83.)

1883. Haton de la Goupillière. — Formules analytiques relatives aux lois de la richesse des filons. (Ann. d. m., 8e série, t. III, p. 405. Paris, 1883.)

Goodchild. — Some observations upon the mode of occurrence and the genesis of metalliferous deposits. (Proceedings of the Geologist's association, t. X.)

1883. Dieulafait. — L'origine et la formation des minerais métallifères. (R. Sc., 19 mai 1883.)

*1883. Lapparent. — Traité de géologie (1re et 2e édit.)

*1883. d'Achiardi. — I metalli, loro minerali e miniere. (Milano, 2 vol). Cet ouvrage contient, dans les notes, beaucoup de renseignements bibliographiques.

1885. Dieulafait. — Origine des minerais de fer, de manganèse et de zinc existant autour du Plateau Central, dans les calcaires jurassiques et à la base de ces calcaires. (C. R. T. C., p. 469 et 662. Paris, 1885.)

1885. Rigaud. — Quelques mots sur les dépôts métallifères. (Ind. Min, 3e XIV, 423.)

1886. Wadsworth. — Theorie of ore deposits. (Proceedings of the Boston Society of natural history, t. XXIII, p. 197. Boston, 1886.)

Parran. — Les roches basiques (mémoire autographié.)

*1887. Daubrée. — Les eaux souterraines aux époques anciennes. (Dunod.)

1887. Köhler. — Les dérangements des filons. (Cuyper, t. XX, p. 471.)

1887. V. Groddeck. — Remarques sur la classification des gîtes métallifères. (Cuyper, t. XIX.)

1888. M. Lévy et Lacroix. — Les minéraux des roches. (1 vol. chez Baudry.)

1888. Wunderlich. — Contributions to the Knowledge of ore and other veins. (Transactions of the geogical Society of Australasia. Melbourne, 1888.)

*1889. Davies. — Earthy and metalliferous minérals and mining. (Londres, 2e édit., 2 vol. avec notes bibliographiques.)

*1885-1890. Suess. — Das Antlitz der Erde. (Wien.)

*1893. Lacroix. — Minéralogie de la France. (1re partie, 1 vol. chez Baudry.)

1893. De Launay. — Formation des gîtes métallifères. (Encyclopédie Léauté.)

ABRÉVIATIONS ADOPTÉES POUR LES OUVRAGES

LE PLUS SOUVENT CITÉS

Ac. d. Linc.	Academia dei Lincei.
Achiardi (d').	Antonio d'Achiardi : i metalli, loro minerali e miniere. 2 vol. Milan, 1883.
An. Ch. et Ph.	Annales de chimie et physique.
An. S. Esp. H. N.	Annales de la Société espagnole d'Histoire naturelle.
Am. J. of Sc.	American Journal of Science and arts (Silliman's Journal).
An. Gén. Civ.	Annales du génie civil.
Ann. d. M.	Annales des mines.
B. D. C. G.	Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft zù Berlin.
B. u. H. J. östr.	Berg und Hüttenm. Jahrbuch der K.K. östreich. Bergacademie.
B. Cart. géol.	Bulletin du Service de la carte géologique de France.
B. S. C. P.	Bulletin de la Société chimique de Paris.
B. S. G.	Bulletin de la Société géologique de France.
B. S. M.	Bulletin de la Société minéralogique de France.
B. Soc. Ind. Min.	Bulletin de la Société de l'Industrie Minérale de Saint-Etienne.
B. u. H. Z.	Berg und Huttenmännische Zeitung.
Bul. A. I. St-Pét.	Bulletin de l'Académie impériale des Sciences de Saint-Pétersbourg.
Bul. A. R. Bel.	Bulletin de l'Académie royale de Belgique.
Carte Géol. Feuille	Carte géologique détaillée de France au 1/80,000. Feuille de...
Com. map. geol. Esp.	Comision del mapa geologico d'Espagna.
C. R.	Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.
Cotta.	Von Cotta. Erzlagerstätten. — Freiberg, 1861.
Cuyper.	Revue Universelle de Liège.
Davies.	Davies. — 1° Metalliferous minerals and mining. 2° Earthy and others minerals and mining. London, 1888.
Ecl.	Eclogæ Geologicæ Helvetiæ.
Eng.	Engineering and mining Journal.
Geol. surv.	Geological survey.

Geol. m.	Geological magazine.
Groddeck.	Von Groddeck. Traité des gites métallifères (Leipzig, 1879). Traduct. Küss, chez Dunod, 1884.
Ind. B.	Industrie Blätter.
Ind. Min.	Bull. de la Soc. de l'Industrie Minérale de St-Etienne.
J. C. S.	Journal chemical Society of London.
J. KK. g. R. Wien.	Jahrbuch der KK. geologischen Reichsanstalt in Wien.
J. f. Pr. Chem.	Journal für Praktische Chemie (Erdmann's Journal).
Karst.	Karstens Archiven.
Lapparent.	De Lapparent. Traité de géologie ; chez Savy.
Leob. B u. H. J.	Leobener Berg und Hütten Jahrbuch.
Leon. Jahr.	Leonhardt und Bronn Jahrbuch.
Mem. A. A. Boston.	Memoirs American Academy of Arts and Sciences. Boston.
Nat.	La Nature.
N. J. Min.	Neues Jahrbuch für Mineralogie.
Oest. Z. f. B. u. H.	Oesterreichische Zeitschrift für Berg und Hütten Wesen.
Ph. M.	Philosophical Magazine.
Pr. Am. A. A. S.	Proceedings of the American Association for the advancement of Science.
Pr. G. S. Lond.	Proceedings of the geological Society London.
Pr. I. Civ. En. Lond.	Proceedings of the Institution of civil Engineers London.
Pog. An.	Poggendorf's Annalen der Physik.
Q. J. G. Soc. Lond.	Quarterly Journal of the geological Society of London.
R. Un.	Revue Universelle des mines et usines.
R. Sc.	Revue Scientifique.
R. d. deux M.	Revue des Deux Mondes.
T. Am. I. M. E.	Transactions of the American Institute of Mining Engineers.
T. geol. Soc. Lond.	Transactions of the geological Society London.
V. KK. g. R. Autriche.	Vernandlungen der KK. geol. Reichsanst. Oesterreichs.
V. Pr. Rh. u. West.	Verhandlungen des naturh. Vereins der preussischen Rheinlande und Westfalien.
W. B.	Wagners Berichte.
Z. Ch.	Zeitschrift für Chemie.
Z. d. d. geol. G.	Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft.
Z. f. B. H. u. S. preus. ou Zeitschr. prussien.	Zeitschrift für Berg, Hütten und Salinenwesen im preussischen Staate.
Z. f. d. g. Nat.	Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften.

CONVERSION EN MESURES FRANÇAISES

DES

PRINCIPALES MESURES ÉTRANGÈRES

USITÉES DANS LES MINES

MESURES SPÉCIALES, D'UN USAGE GÉNÉRAL

POUR CERTAINES SUBSTANCES

Pour certaines substances, on a adopté, d'une façon générale, des mesures spéciales :

Les **diamants**, pierres précieuses et perles, sont évalués par *carats*. Ce poids, légèrement variable suivant les pays, est : en France de $0^{gr},2059$; en Angleterre et en Allemagne, de 0,2055; en Hollande, de 0,205894; au Brésil, de 0,1922. Le carat se divise en 1/2, 1/4, 1/8 etc., jusqu'au 64e.

Il y a lieu de distinguer, de ce *carat poids*, le *carat titre*.

Le *carat titre* représente le 24e d'une quantité d'or prise pour une unité appelée marc; ainsi l'or à 23 carats (23 carats fins), contient 23 parties d'or fin et une partie d'alliage.

De même l'argent pur est à 12 *deniers*.

Le **pétrole** est compté officiellement, en Amérique, par *barils* de 42 gallons[1] (ou 159 litres). La densité du pétrole brut étant admise de 0,810, le baril de pétrole représente $128^{kg},89$.

Le **mercure** est généralement évalué en *bouteilles* (bottles, flasks, frascos), de $34^{kg},65$ (76,5 pounds avoir-du-poids).

Pour l'**or** et l'**argent**, on compte par *onces* (oz), de $31^{gr},103496$, *deniers* (dwt) de $1^{gr},55$ et *grains* (grn) de 0,0647.

Les prix des métaux précieux sont souvent estimés en pence par once standard; on passe au prix en francs par kilogramme en multipliant par le rapport 3,646. Il faut 31 281 onces d'argent standard pour 1 kilogramme à 9/10 de fin.

ALLEMAGNE

Monnaies. — Le système usité, dans toute l'Allemagne, depuis le 1er janvier 1876, est basé sur le mark (reichs mark) valant $1^{fr},23457$ et divisé en 100 pfennigs. Le thaler vaut 3 marks; la couronne, 10 marks.

Poids et mesures. — Le système métrique français est obligatoire depuis le 1er janvier 1872. Quelques dénominations seules diffèrent dans le langage officiel :

Mesures de longueur. — Stab, mètre; neuzoll, centimètre; strich, millimètre; kette, décamètre.

Mesures de surface. — Quadratstab, mètre carré.

[1] Le gallon américain (ancien wine gallon anglais) est de 3 liv. 785. Pratiquement, le pétrole américain arrive en barils de 50 à 52 gallons.

Mesures de volume. — Kubikstab, mètre cube ; kanne, litre; schoppen, demi-litre; fan, hectolitre; scheffel, 50 litres.

Mesures de distance. — Meile, 7 500 mètres.

Poids. — L'unité est le kilogramme, égal à deux livres (deux pfunden). Les autres poids sont neuloth, décagramme ; pfund, demi-kilogramme ; centner, 50 kilogrammes ; tonne, 1 000 kilogrammes. Dans les mines, on compte souvent par centner (quintal de 50 kilogrammes).

ANGLETERRE

Monnaies.		EN ABRÉGÉ
Le souverain (sovereign), ou livre sterling (pound sterling), vaut	25fr,22128.	stg, L, l, £ (Libra).
Le shilling d'argent (12 pence) vaut. . .	1 ,16130.	S ou s (Solidum).
Le penny, vaut	0 ,09790.	
Le farthing ou liard = 1/4 penny. . . .	0 ,02447	D ou d (denarium).
La guinée (ancienne mesure), valait. . .	26 ,48.	
Le dollar d'or américain, usité au Canada, à Terre-Neuve, etc., vaut.	5 ,1827.	$.

Poids et mesures.

Poids de commerce, dits *avoir-du-poids :* (en abrégé : avoir).

Ton (long ton)	= 20 quintaux	= 1 016kg048gr.	t.
Short ton (tonne courte)	= 2 000 pounds	= 907 18	
Hundred weight (quintal)	= 112 livres	= 50 802 ,38.	cwt.
Pound, libra (livre avoir du poids)	= 16 onces	= 453gr,592625	lb, au pluriel lbs.
Ounce (once)	= 16 drams	= 28 ,349540.	
Dram		= 1 ,771846.	

Centner — centième partie de quelque chose.

Poids de troy, usités seulement pour les métaux précieux.

Livre troy	= 5 760 grains	= 373gr,241948	lb troy.
Ounce (once)	= 12e de livre troy	= 31 ,103496	Oz, ozs.
Denier (penny-weight)	= 20e d'once	= 1 ,555175	dwt, dwts.
Grain	= 24e de denier	= 0 ,064799	grn, grns.

Mesures de longueur.

Common meter, mètre français.		= 1m,00	CM.
Fathom (brasse)	= 2 yards	= 1m,828777	
Yard (impérial standard)	= 3 pieds	= 0 ,9143835	yd
Foot (pied)	= 12 pouces	= 0 ,3047945	ft = 1'.
Inch (pouce)	= 10 lignes	= 0 .0259954	in = 1".
Pole perch	= 5 1/2 yards	= 5 ,02911	
Chain	= 4 poles	= 20 ,11644	
Furlong	= 40 poles	= 201 ,16437	

Mesures itinéraires.

Mile, dit statute mile	= 1 760 yards	= 1 609m,31493.
Lieue marine	= 3 miles 454	= 5 558 ,00

Mesures de superficie.

Yard carré	= 9 pieds carrés	= 0m²,83609715	sq. y.
Pied carré	= 144 pouces car.	= 0 ,09289970	sq. ft.
Pouce carré	=	= 0 ,00064510	sq. in.

Mesures agraires.

Rod (perche carrée)	= 30 yards carrés	= 25m²,291939
Rood (1 210 yards carrés)		= 10 ares 116775.
Acre (4 840 yards carrés)		= 0 hectare 404671.

Mesures de capacité.		en abrégé.
Fathom cube (216 pieds cubes)	= 6^{m3},116.	
Load (50 pieds cubes)	= 1 ,415.	
Tonneau de mer (40 pieds cubes)	= 1 ,132.	
Pied cube (12 pouces cubes)	= 28^{dmc3},315.	
Pouce cube	= 0 ,016.	
Pour les liquides.		
Tonne (7 barils $\frac{875}{1\,000}$)	= 1 144 litres.	
Hogshead (demi-pièce), baril (32 gallons)	= 145 —	hhd.
Gallon impérial (4 quarts)	= 4,543458	gall.
Quart (2 pints)	= 1,135870.	
Pint (1/8 de gallon)	= 0,56793.	
Gill (1/4 de pint)	= 0,141983.	
Pour les mesures sèches.		
Bushel, boisseau (8 gallons)	= 36^{lit},34760.	

Le sack vaut 3 boisseaux ; le chaldron, 12 sacks ; le quarter, 8 boisseaux.

Pour convertir :

Une pression en livres anglaises par pied carré en kilogrammes par mètre carré, il faut multiplier par 4,88697 ;

Une pression en pounds par mètre carré (pound, the square inch ; en abrégé : lb the sq. in), en kilos par centimètre carré, il faut multiplier par 0,0703876 ;

Un foot pound (livre-pied) en kilogrammètres, multiplier par 0,1383792.

Nous ajouterons quelques **abréviations anglaises fréquemment usitées** :

M.	— thousand	— 1000.
Secs	— seconds	— secondes.
Alt.	— altitude	— altitude.
A^{x}	— three fourths	— trois quarts.
Aq.	— Water	— eau.
Av.	— average	— moyenne.
C.G.S.	—	— centimètres, grammes, secondes.
I.H.P	— indicated horse power.	Force en chevaux indiquée.
Wt	— weight	— poids.
Yr ou yr	— year	— année.

ARGENTINE (République).

Monnaies. — On compte en pesos papel (piastres de papier) et piastres fortes de 5 fr. 40.

Les **poids et mesures** sont conformes au système décimal, depuis 1874.

Auparavant, on se servait, pour les longueurs comme dans les États hispano-américains, de la vara (0^{m}, 8479) divisée en 3 tertias ou en 4 cuartas.

AUTRICHE-HONGRIE

Monnaies. — L'unité monétaire est, depuis 1870, le florin d'argent, ou gulden, dont la valeur est de 2 fr. 46 91. — Le florin papier, presque seul employé en pratique, vaut, par suite de la perte au change (cours forcé), de 2 fr. 15 à 2 fr. 20. — Le florin se divise en 100 kreutzers.

Le ducat (ad legem imperii) vaut 11 fr. 85520.

Le thaler de Marie-Thérèse (encore adopté dans le commerce du levant sous le nom de Talari), vaut 5 fr. 20.

Poids et mesures. — Le système métrique français est obligatoire, depuis 1876 en Autriche, depuis 1880 en Hongrie. — L'unité de poids habituelle pour les mines est le centner métrique de 100 kilogrammes.

L'ancien système comprend les termes suivants, encore souvent usités :

Poids.

Centner (quintal)	=	100 pfunden	=	56 kil.
Pfund (livre)	=	32 loths	=	560gr, 012.
Loth (demi-once)	=	4 quentchen	=	17gr, 500.
Quentchen	=	2 achteln	=	4gr, 4.
Achtel (huitième)	=	2 pfennigen	=	2,2
Pfennig (sechszehntel, seizième)			=	1,1.

Mesures de longueur. — Fuss (pied) = 0m,3161.

Le pied se divise en 12 pouces (zoll), à 12 lignes, à 12 points.

Klatter (toise) = 6 pieds.

L'Ingénieur rhute (perche) = 10 pieds, à 10 pouces décimaux, à 10 lignes décimales.

L'Elle (aune) = 2 pieds 465 = 0m,7792.

Le mille = 24 000 pieds = 7 586m,663.

1 poste = 2 milles.

Mesures de superficie.

Le quadratfuss (pied carré) = 144 pouces carrés = 0m q. 09992066.

Le joch (arpent) = 1600 toises carrées = 57 ares, 5544.

Le scheffel (boisseau) = 1/3 joch.

Le strich (trait) de Bohême = 1/2 joch.

Mesures de capacité.

Le cubic klatter (toise cube) = 216 pieds cubes = 6 m3 8224.

Pour les mesures sèches : Metze (minot) = 61 lit., 496.
Le stiebish (mesure de charbon) = 2 boisseaux.
Le muthel (mesure de chaux) = 2 1/2 boisseaux.
La corde de bois = 1/2 toise cube = 3 stères 4112.

Pour les liquides : Mass impérial (canne) d'Autriche = 1 lit. 415.
L'eimer (seau) contient 40 mass à 4 seidel, à 2 pfiff.
Le fass (tonneau) = 10 eimer.
Le fuder (foudre) = 32 eimer.

BOLIVIE

On compte en piastres à 8 réaux. La piastre = 5 fr. 40.

Anciens poids et mesures d'Espagne.

BRÉSIL

Monnaies. — On compte en milréis = 2 fr. 83. (Le réis du Brésil est environ la moitié du réis de Portugal.) — Le conto de réis vaut 1 000 réis ou 2 830 francs.

Poids et mesures. — Le système métrique est en vigueur depuis 1874.

Auparavant : Le pied de 12 pouces à 12 lignes = 1/3 mètre.
La braça (brasse) = 2 varas à 40 pouces = 2m,02.
La legua (lieue) = 5,563m,875.
Le covado = 0m,680.
La vara = 1m,10.

CHILI

Monnaies. — L'unité est la piastre d'argent (peso), identique à la pièce de 5 francs française. — Le peso de Plata se divise en 10 décimos et 100 centavos.

Le peso d'or vaut 4 fr. 72843 ; l'escudo = 9,45686 ; le doblon = 23,6426 ; le condor = 47 fr. 28430.

Poids et mesures. — Le système métrique a été décrété en 1848 ; mais on se sert encore des mesures de Castille : quintal de 46 kil. ; arroba de 11kg,500 ; livre de 0kg,460 ; marc de 0kg,230 ; once de 0,029 ; tonelada de 2000 livres ; carga de 300 livres

DANEMARK, SUÈDE ET NORVÈGE

Monnaies. — La couronne (Krone) vaut 1 fr. 33335 et se divise en 100 öre. Comme ancienne monnaie, le rixthaler valait, en Danemark, 2 fr. 8090; en Suède : 1 fr. 4170; en Norvège, 5 fr. 6180.

Le système métrique est obligatoire depuis 1889. — Les anciennes mesures sont :

Mesures de longueur. — Le fot (pied) = 0^{m},29 690; le stang (perche) = 10 pieds; 1 zoll ancien = 24^{mm}, 74; 1 zoll décimal = 29^{mm},74; le ref (corde) = 10 perches = 100 pieds. — Le fot (pied) vaut 10 kums (pouces) = 100 liniers (lignes). — 1 ligne ancienne = 2^{mm},06; 1 ligne décimale 2^{mm},97; le mil (mille) vaut 10 kilom.

Mesures de superficie. — Quadrat fot (pied carré) = 0^{mc}, 08815; corde carrée = 8 ares 815; tunnland (arpent) = 0 hect. 4936. — Quadrat zoll décimal = $8^{mc}81$; quadrat linier = 8^{mm}, 81.

Mesures de capacité. — Kubik fot (pied cube) = 0^{m^3} 02617; 1 kubik zoll = $26^{cm^3}17$; Kanna = 2 litres 617; 1 tunna (mesure pour le charbon) = 0^{m^3},164870.

12 tunnor = 1 last = petit stiq = 1 ^{mc}. 979.
24 tunnor = 2 laster = 1 grand stiq = 3 ^{mc}. 958.

Poids. — Skalpund (livre) = 0 ^{kg}, 425076; centner (quintal) = 100 livres = 42^{kg}5076. Ny last (nouveau last) = 42 5076^{kg}. (= 10 000 livres). — 23 cent. 51 représentent 1 tonne.

Dans les mines, on compte volontiers par deciton, quintal de 100 kilos.

Autres mesures comparatives :

n. tunnor par centner	= 0,388 n. mètres cubes, par 100 kil.				
n. poids cubes par centner	= 0,01252 n. mètres cubes, par 100 kil.				
n. centner par tunna	= 2,58 n. quintaux par mc^3.				
n. heures par centner	= 2,351 n. heures par 100 kilos.				
n. pre ou kronor par centner	= 3,29 n. centimes ou francs par 100 kil.				
n. — pied	= 4.66 n.	—	par mètre.		
n. — tunna	= 8,48 n.	—	par mc^3.		

ESPAGNE

Monnaies. — L'unité est la peseta qui vaut 1 franc et se divise en 4 reales.

Poids et mesures. — Le système métrique français existe depuis 1862. — On emploie encore certaines mesures anciennes :

Poids. — Livre de Castille = 460 grammes 142.

Le quintal contenait 4 arrobas = 100 livres = 1,600 onces.

Pour les matières d'or et d'argent, on compte par marc de Castille valant 230 grammes, 07114 et se divisant en 8 onces, 64 ochavas, 128 adarmas, 384 taminos, 4 608 grains.

Le poids, pour les diamants, est l'once de Castille à 140 karats, 4 granos = 560 grains.

Mesures linéaires. — Le pied de Burgos (Burgalès) = 0^{m},27333 = 12 pouces = 16 doigts = 144 lignes = 1 728 points.

La vara (aune) = 0^{m},8359 = 3 pieds de Burgos. = 4 palmos = 36 pouces.

L'estado (toise) = 1^{m},672.

La legua (lieue) = 8 000 varas = 6 680 mètres.

Mesures de superficie. — L'estadal carré = 11^{m^2},1156. = 16 varas carrées = 144 pieds carrés.

La fanega = 64 ares, 41025.

Mesures de capacité pour les liquides. — Arroba mayor = 16 litres 133 = 4 cuartillos à 2 azumbres. — La bota = 30 grandes arrobas.

ÉTATS-UNIS

Monnaies. — On compte en dollars d'or $ = 5,1827 et divisés en cent cents. Le dollar d'argent (de 1878), vaut 5 fr. 3458 et compte 371 grains 25 d'argent fin. L'aigle d'or vaut 10 dollars ou 51 fr. 8275.

Les poids et mesures de longueur et de superficie sont les mêmes qu'en Angleterre.

Cependant, le quintal avoir-du-poids (hundred weight) vaut 100 livres au lieu de 112 = 45kg,354. On emploie aussi le tonneau de convention (short ton) de 2000 livres avoir-du poids = 907 kil. qu'il faut distinguer de la long ton = 1016k,048.

On se sert, pour les liquides, de l'ancien wine-gallon anglais (3 lit. 785), divisé en 2 pottles, 4 quarts, 8 pintes ou 32 gils.

La pipe = 120 wine-gallons.

INDE ANGLAISE

Monnaies. — On compte en roupies (2 fr. 377) divisées en 16 annas et 192 pice. Un lac = 100 000 roupies; un crore = 100 lacs.

Poids. — Bazar maund = 37kg,251, divisé en 40 seers, à 16 chittacks, à 5 siccas.

JAPON

L'unité monétaire est le yen d'or (5 fr. 16) divisé en 100 sens. Autrefois, on comptait en itribous = 1 fr. 75.

Poids.

Momme	= 1gr,750, divisé en 10 puns, 100 rins, 1000 mons.
1 kivan-mé	= 1 000 mommes = 1kg,750.
1 kyah-mé	= 160 — = 0 ,175.
1 king (hore)	= 160 — = 280 gr.
1 condorni	= 3 décigr. 685.
1 pical japonais	= 58kg, 960.

MEXIQUE

Monnaies. — La piastre d'argent mexicaine, ou peso (5 fr. 35), est usitée dans toute l'Amérique, l'Inde, la Chine, l'Archipel indien, en Perse, Afrique, Turquie, etc. Elle se divise en 100 centavos. Cette piastre se divisait autrefois en 8 reaux de Plata. Le real vaut 0,67726.

La pistole d'or vaut 20 fr. 34375; l'escudo de oro = 10 fr. 171875; l'escudillo = 5 fr. 0859375.

Le peso d'or vaut seulement 5 fr. 099.

Poids.

L'unité de poids est la livre de Castille = 460gr,20.

Le quintal, à 4 arrobas, à 25 livres, à 16 onces = 46 kil.

Le tonneau de mer = 20 quintaux = 920 kil.

La carga = 16 arrobas = 184 kil.

L'or et l'argent se pèsent, comme en Espagne, au marc de Castille (230gr,07114).

Mesures. — Aune ancienne de Madrid, vara = 0m,84790

PAYS-BAS ET COLONIES NÉERLANDAISES (Bornéo, Java), etc.

Monnaies. — L'unité est le gulden (florin) = 2,0995, qui se divise en 100 cents; le rijksdaler = 2 florins 1/2 = 5 fr. 24970; le guillaume d'or = 20 fr. 85990; le ducat d'or = 11 fr. 83030.

Le système métrique décimal français est en vigueur depuis 1821 avec des dénominations spéciales :

Poids.

Pond (livre)	= 10 onsen	= 1	**kilogr.**
Ons (once)	= 10 lood	= 1	**hectogr.**
Lood (gros)	= 10 wichtjes	= 1	**décagr.**
Wichtje (esterling)	= 10 korrels	= 1	**gramme.**
Korrel (grain)	=	1	**décigramme.**

Mesures de longueur. — El (aune) = 10 palmen = 1 mètre.
Le palm, le duim, le streep sont le décimètre, centimètre, millimètre.
La rœde (perche) et le myl (mill), sont le décamètre et le kilomètre.

Mesures de superficie. — Vierkante el (se divise comme l'el) = 1 mèt. carré.
Vierkante rœde = 1 are; bunder = 1 hectare.

Cubes. — Kubieke el (se divise comme l'el) = 1 m³; wisse (mesure de bois) = 1 stère.

Mesures de capacité. Liquide. — Nat (hectolitre); kan (litre); maatje (décilitre); vingerhœd (centilitre).
March. sèches. — Last (30 hectolitres); mudde ou sak (hectolitre); scheppel (décalitre); kop (litre); maatje (décilitre).

PORTUGAL

Monnaies. — On compte en réis et milréis. Le milréis = 5,60; la couronne = 10 milréis; le teston d'argent = 100 réis.
Le système métrique est adopté depuis 1868.

Anciens poids. — Livre = 459 grammes; quintal, à 4 arrobes, à 32 livres, à 2 marcs, à 8 onces. Le marc (pour peser l'or et l'argent) = 229gr,50 et se divise en 8 onces.

PÉROU

Monnaies. — L'unité est le soleil (5 francs), ou sol, divisé en dix deniers (diners) et 100 centavos.
Le système métrique a été prescrit; auparavant, les mesures étaient celles d'Espagne.

PERSE

Monnaies. — On compte en thomans (11 fr. 88) divisés en 100 schahis; 1 bourse d'or = 50 thomans = 575 francs; 1 bourse d'argent = 275 francs.

Poids. — Batman de Tauris = 6 zateles = 300 derhems = 600 miskals = 3 600 dungs = 2 kg,79.

Mesures de longueur. — Gueze (aune) = 0m,9454; parasango (lieue) = 5km,760.

RUSSIE

Monnaies. — L'unité monétaire est le rouble d'argent qui vaut 3 fr. 99 et se divise en 100 kopeks. Le rouble papier, généralement usité en pratique, vaut environ 2 fr. 50. Le ducat d'or de 3 roubles vaut 12 fr. 40190; la demi-impériale : 20 fr. 66956.

Longueur.

1 druime	= 1 pouce = 1″	=	0m,02539.
1 fout	= 1 pied = 1′ = 12″	=	0 ,30479.
1 archine (aune)	= 16 verschocks	=	0 ,71119.
1 sagène	= 3 archines = 7 pieds = 48 verschocks	=	2 ,13356.
1 verste	= 500 sagènes	=	1066 ,78.

Superficie.

1 déciatine	= 2400 sagènes carrées	=	109 ares 25.

Volume.

1 lorobe (pour le charbon de bois)	=	2^{m3},28.
1 Sag³ (pour le bois, la tourbe, les fagots)	=	9 ,712.
1 tschetwert (pour les grains) = 2 osmin = 8 tchetveriks	=	210 litres.
1 vedro (pour les liquides)	=	12 lit, 229.
1 botchka (tonneau) = 40 vedros	=	491,940.

Poids.

1 dol	=	0^{gr},044.
1 zolothnic (solotnik) = 96 doli	=	4 ,266.
1 found = 1℈ = 1 livre russe = 16 onces = 32 loths = 96 zol	=	0^{k},409.
1 poud = 1π = 40 livres russes	=	16 ,381.
1 berkowetz = 10 pouds.	=	163 ,81.
1 tonne de navire = 6 berkowétz	=	982 500 grammes.
1 last de navire = 2 tonnes	=	1 965 kilogrammes.

SUÈDE ET NORVÈGE (voir Danemark.)

TURQUIE

Monnaies. — On compte en piastres (grusch) à 40 paras ou 100 aspres. La livre turque de 100 piastres = 22 fr. 79; la piastre = 22 c. 79; le medjidié d'argent = 4,43.

Poids et mesures. — Le système métrique décimal a été décrété en 1870; mais on se sert encore des anciennes mesures :

Poids. — Cantar = 22 chekys = 56^{k},408; chéky = 2 okes = 2^{k},564 ; oke = 400 drachmes = 1^{k},282; drachme = 16 karats = 0,003..

Mesures de longueur. — Archine = 0^{m},75774.

Mesures de capacité. — Metro = 13 lit. 33;oke = 1 lit. 33; kilo pour céréales = 35 lit. 27.

ERRATA ET ADDENDA

TOME I

Page 33. **Origine du diamant.** — Depuis l'impression de cet ouvrage, quelques travaux du plus haut intérêt sont venus préciser ce qu'on pouvait soupçonner sur le mode de formation du diamant.

En premier lieu, l'existence du diamant dans une météorite de l'Arizona (cañon Diablo), déjà signalée par M. Mallard (voir p. 34), a été confirmée par les analyses de MM. Friedel et Moissan. (Friedel, C. R., déc. 1892 et *B. S. M.* 1892, t. XV, p. 258; C. R., 13 févr. 1893. Moissan, p. 288; Friedel, p. 290.) M. Moissan a même pu isoler, d'un fragment de cette météorite, un diamant jaunâtre de $0^{mm},7$ sur $0^{mm},3$ avec du diamant noir ou carbonado et du graphite. Ses analyses ont, en outre, montré le manque absolu d'homogénéité du fer nickelé qui composait cette météorite.

Dans une autre communication (C. R., 3 févr. 1893, p. 292), M. Moissan a signalé, au milieu de la terre bleue (blue ground) du Cap, la présence de graphite, de carbonado et de diamant microscopique (voir plus haut, p. 17; cf. Couttolenc, *Soc. d'Hist. naturelle d'Autun*, déc. 1892). Enfin, par une confirmation éclatante des idées de M. Berthelot et de M. Daubrée (exposées p. 33), M. Moissan a annoncé (C. R., 6 févr. 1893, p. 218), qu'il avait réussi à réaliser la synthèse du diamant en faisant cristalliser du carbone dans la fonte à très haute pression, c'est-à-dire dans des conditions analogues à celles qui se sont produites pour les météorites diamantifères et pour la terre bleue du Cap.

Lorsqu'on sature le fer de carbone à une température comprise entre 1100 et 3000°, on obtient, par le refroidissement, des résultats différents suivant la température à laquelle la masse a été portée : à 3000° notamment, il se fait exclusivement du graphite. Pour obtenir le diamant, on doit, en outre, faire intervenir la pression; pour cela, on fond au four électrique 150 à 200 grammes de fer doux, on y plonge un cylindre de charbon comprimé qui se dissout et l'on détermine la pression nécessaire en trempant brusquement le creuset de fonte dans un seau d'eau. En dissolvant ensuite le métal par l'acide chlorhydrique, M. Moissan a isolé du graphite, du carbonado et du diamant blanc.

(Voir encore, sur cette question, les communications de MM. Friedel et Berthelot dans la même séance de l'Institut, celle de M. Werth, le 13 févr. 1893.)

P. 34, note 1, *au lieu de :* Maillard, *lire :* Mallard.

P. 141, **Pétroles français.** Divers sondages ont été tentés pour chercher du pétrole en France. A Gabian (Hérault), on est descendu à 413 mètres; à la Fontaine Ardente de Grenoble, à 198 mètres, sans aucun résultat. Au Nord de Seyssel, (Ain), un sondage est actuellement en cours. Enfin, dans la Limagne d'Auvergne, M. de Clercy a fait divers sondages en 1892. Aux environs de Pont-du-Château, on s'est arrêté à 220 mètres sans avoir rien trouvé; à Pont-Battu près Riom, on n'a rencontré, jusqu'à 275 mètres, que des traces d'huile et de gaz combustibles. Ce sondage, qui n'est pas terminé, est sorti, à 220 mètres de profondeur, des marnes à cypris faba aquitaniennes pour entrer dans les arkoses tongriennes (Charlon, Nature, 7 janv. 1893.

P. 145, 12e ligne à partir du bas, *au lieu de :* Indes, *lire :* Andes.

P. 183. Sur l'industrie des schistes bitumineux, voir Chesneau. 1892 : Rapports sur l'industrie des huiles de schiste en France, Angleterre, Allemagne et Belgique. (Imprimerie Nationale.

P. 236, note 1, *au lieu de :* au chapitre du Manganèse, *lire :* au chapitre du Phosphore, p. 360.

P. 256, **Boracites d'Asie Mineure.** A Sultan Tchair, la boracite forme des lentilles de 3 à 5 mètres d'épaisseur dans une couche de gypse de 30 à 50 mètres, qui remplit un petit bassin, de 1 kilomètre de long sur 2 de large, au milieu de roches éruptives, L'exploitation anglaise produit là 7 400 tonnes par an. En outre, une mine française Azizié, commencée en 1891, extrait déjà près de 5000 tonnes par an.
P. 259, 8e ligne à partir du bas : *au lieu de* : Solvais, *lire :* Solvay.
P. 303, 2e ligne à partir du bas : *au lieu de :* Zalalthna, *lire :* Zalathna.
P. 318, 10e ligne à partir du haut : *au lieu de :* Joly, *lire :* Joulie.
P. 335, 9e ligne à partir du bas : *au lieu de :* Bamle, *lire :* Bamble.
P. 379, 22e ligne à partir du haut : *au lieu de :* Sandry, *lire :* Sandy.
P. 392, la figure 60 a été faite d'après M. de Mercey.
P. 405, 7e ligne à partir du bas : *an lieu de* : totale, *lire :* total.
P. 410, 5e ligne à partir du bas : *au lieu de :* Alta Vala, *lire :* Alta Vela.
P. 417, 7e ligne à partir du haut : *au lieu de :* rendre, *lire :* restituer.
P. 576, 9e ligne. Les caisses ont une contenance d'environ $0^{m3},03$. Pour la 1re grosseur, elles contiennent 35 à 40 morceaux et valent à Vienne (qui a le monopole du marché), de 650 francs, pour la 1re qualité, à 65 francs pour la 12me.
P. 595. En 1891, la production d'aluminium a été d'environ 500 tonnes.
P. 607. On a souvent mentionné à tort la présence de l'alunite au milieu des trachytes, là où il n'y avait en réalité que de l'alun proprement dit. C'est notamment, d'après M. Ehrenburg, le cas à Milo.
P. 676, *au lieu de :* Patère, *lire :* Batère.
P. 679, *au lieu de :* Puymarens, *lire :* Puymorens.

TOME II

P. 16, 11e ligne, ajouter : 1857, Drouot, gîtes de houille de la Chapelle-sous-Dun et gîtes de manganèse de Romanèche (1 vol. et atlas).
P. 39, 14e ligne à partir du haut. Le Banat ne produit plus de fer chromé depuis 1876, En 1875, le district d'Oravicza avait fourni 575 tonnes.
P. 65, 5e ligne, *au lieu de :* Svarallo, Copello, *lire :* Varallo, Scopello.
P. 74, 12e ligne, *au lieu de :* Galicie, *lire :* Galice.
P. 123, figure 193, *au lieu de :* échelle au $\frac{1}{020}$, *lire :* échelle au $\frac{1}{200}$.
P. 171, 8e ligne, *au lieu de :* tunsgtène, *lire :* tungstène.
P. 217, 13e ligne et p. 222, 1re ligne, *au lieu de :* Bettslove, *lire :* Betts cove. Les gites de cuivre de Terre Neuve, situés au voisinage de la Baie Notre Dame, notamment à Little bay (et à Betts Cove et Til Cove, aujourd'hui abandonnés), se composent d'amas pyriteux (comparables à ceux de Norvège) dans les terrains primaires.
P. 247 et 252, *au lieu de :* Mednorondiansk, *lire :* Mednoroudiansk.
P. 265, passim, *au lieu de :* rhyolite, *lire :* rhyolithe.
P. 288, 20e ligne. On est porté aujourd'hui à considérer les schistes de Röraas comme cambriens, ou peut-être même siluriens.
P. 321, 3e ligne, à partir du bas, *au lieu de :* la Bonglise, *lire :* la Bouglise.
P. 352, 14e ligne, *au lieu de :* siliceux, *lire :* basiques.
P. 417, 15e ligne, *au lieu de :* Moresne, *lire :* Moresnet.
P. 473, 9e ligne à partir du bas, *au lieu de :* 47,000 en 1891, *lire :* 147,000.
P. 526, figure 285, au cap de Gata, *au lieu de :* Pb, *lire :* Ph (phosphates).
P. 580, légende de la figure 302, *au lieu de :* k, schiste siliceux, *lire :* m, schiste siliceux
P. 639, et suiv. Les figures relatives au gîte de Leadville ont été faites d'après l'ouvrage de M. Emmons.
P. 665, 4e ligne à partir du bas, *au lieu de :* Ciudad Reald, *lire :* Ciudad Real.
P. 744, 1re et 2e lignes, intervertir les monts Montana et Colorado.
P. 920, 2e ligne en remontant, *au lieu de :* Est, *lire :* Ouest.

TRAITÉ

DE

GÉOLOGIE APPLIQUÉE

CARBONE

Eq = 6; P. at. = 12

Le carbone entre dans la constitution d'un grand nombre de ubstances minérales utiles, soit comme corps simple, associé ou on avec un peu d'azote (diamant, graphite), soit à l'état de cominaison avec l'hydrogène et parfois avec l'azote ou le soufre tourbe, anthracite, houille, lignite et jais, gaz naturels, naphtes t pétroles, bitume, ambre, ozocérite, asphalte, schistes bitumieux, etc.).

Nous étudierons successivement chacune de ces diverses subsances, à l'exception toutefois des combustibles qui constituent à ux seuls un sujet spécial, d'une trop grande importance pour rouver place dans le cadre de cet ouvrage[1].

a. — DIAMANT

Nature du diamant. — On sait aujourd'hui que le diamant est du carbone cristallisé. La détermination précise de sa composition est relativement récente.

[1] Une classification rationnelle des produits carburés serait assez difficile à établir. Il semble toutefois, d'après des recherches récentes de M. Mahler, que la détermination des pouvoirs calorifiques permette de distinguer deux groupes principaux, les

En 1704, Newton, dans son optique, le rangeait pour la première fois parmi les combustibles, mais pour une raison assez inattendue, parce que le rapport de sa puissance réfractive à sa densité le plaçait entre l'huile de térébenthine et le succin, tous deux très inflammables.

Les plus anciens essais d'analyse sont ceux de Darcet et de Lavoisier.

En 1694, le grand-duc de Toscane, Cosme III de Médicis, avait essayé de chauffer pour 6 000 florins de diamants dans des creusets à l'air libre et les avait fait évaporer. En 1771 et 1772, l'expérience fut reprise par Darcet qui, en chauffant le diamant à l'abri de l'air, constata que, dans ces conditions nouvelles, il était au contraire absolument réfractaire. Lavoisier, renouvelant l'expérience dans une cloche pleine d'air dont il mesura le volume avant et après l'opération, reconnut alors que le diamant était un corps combustible *analogue au charbon* qui brûlait en produisant de l'acide carbonique. Mais les uns, comme Guyton de Morveau, continuèrent à supposer qu'il renfermait en outre de l'oxygène; d'autres, comme Biot et Arago, de l'hydrogène, et c'est Dumas qui, le premier, en 1840, ayant analysé le diamant dans un tube à analyse organique, démontra qu'il était composé exclusivement de carbone, sauf environ cinq dix millièmes de cendres en petits flocons blancs, jaunâtres par places, sur la nature desquels on n'est pas encore bien fixé.

Propriétés du diamant. — Le diamant existe sous trois états : diamant proprement dit, boort et carbon ou diamant noir. Nous ne parlerons d'abord que du diamant proprement dit.

Celui-ci se présente en cristaux très petits. Ceux de 5 carats ou d'un gramme (le *carat* qui est la mesure de poids spéciale aux diamants pèse exactement 205 milligrammes) sont déjà assez rares. Les cristaux sont presque toujours à faces et à arêtes

uns d'origine végétale (houille, lignite, tourbe, ambre, etc.) où ce pouvoir calorifique serait, comme pour le bois, donné par la formule $Q = \frac{8\,140\,C + 34\,500\,H - 3\,000\,(O + Az)}{100}$, les autres (diamant, graphite, pétrole, etc.) où cette formule n'est plus applicable. On peut remarquer que les corps de la première série sont susceptibles, par altération à l'air, de se rapprocher, en s'oxygénant, de leur état primitif et de fournir de l'acide ulmique. L'anthracite paraît correspondre à une forme de houille modifiée par des actions calorifiques.

Pour décolorer les diamants, on a essayé sans succès de tous les moyens, la chaleur, une combustion rapide de la surface avec du nitre, etc... Un procès a montré, il y a quelques années, qu'on pouvait y arriver — au moins en apparence — en trempant le diamant jaune dans une solution violette d'aniline[1]. La superposition des deux teintes complémentaires produit le blanc ; seulement, dès qu'on lave le diamant à l'eau, il reprend sa teinte naturelle[2].

Inclusions. — Le diamant contient fréquemment des inclusions qu'on reconnaît en l'examinant en plaques minces au microscope. Celles qui ont été le mieux étudiées sont les inclusions solides qui sont parfois de véritables cristaux de diamant enfermés dans un cristal plus grand, d'autres fois du quartz, des topazes, de l'acide titanique, de la pyrite, du sulfate de fer, etc... En 1883, M. Friedel y a reconnu en outre la présence du graphite (minéral en relation fréquente avec le diamant). Souvent aussi des taches noires qu'on prend à première vue pour des inclusions, ne sont que des creux, remplis de gaz peut-être, mais où on n'a jamais constaté la présence d'un liquide.

La *dureté* du diamant dépasse celle de tous les minéraux connus et c'est là la base de tous ses emplois industriels en dehors de la joaillerie. Il ne peut être rayé et poli que par lui-même.

Au point de vue de l'action de la lumière, il est remarquable par son *indice de réfraction* supérieur, sinon à celui de tous les corps connus (car la blende, le cinabre et plusieurs autres le dépassent), au moins à celui de tous les corps transparents connus ; il en résulte qu'il présente à un degré supérieur le phénomène de la réflexion totale ; son *coefficient de dispersion* est également considérable et c'est cette particularité qui produit les *feux* dont on multiplie le scintillement en montant le diamant sur des tiges flexibles. Quelques autres propriétés optiques contribuent enfin à lui donner sa beauté toute particulière : ainsi le

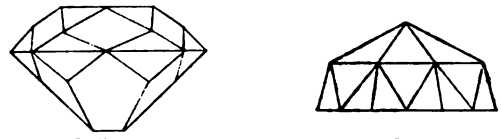
[1] Voir Jannetaz, *Bull. soc. Min.*, 12 mars 1891.

[2] Il y a cependant certains diamants du Cap, auxquels la présence d'un peu de sulfate de fer communique une teinte verdâtre, qui redeviennent blancs lorsqu'on les chauffe à 300°.

polissage au moyen d'une roue saupoudrée de poudre de diamant et tournant à 200 tours par minute.

Une particularité longtemps tenue secrète à Amsterdam, c'est le *fil de la pierre;* on ne peut en effet tailler chaque face que dans un sens déterminé.

Le brillant est obtenu en abattant les sommets de l'octaèdre à une hauteur déterminée de manière à obtenir, d'un côté la table, de l'autre la culasse (plus petite) et pratiquant ensuite une série de biseaux; la rose au contraire en fendant le diamant suivant un plan d'hémitropie pour avoir la base et taillant des facettes triangulaires.



Brillant. Rose.

Fig. 1.

Cette opération de la taille du diamant revenait, avant la découverte des diamants du Cap, à environ 7 francs par carat pour les pierres d'un carat et était à peu près monopolisée à Amsterdam. L'arrivée de grandes quantités de pierres commença par faire monter ce prix jusqu'à 20 francs et il se créa des tailleries à Anvers, à Saint-Claude (Jura). Aujourd'hui le prix est retombé à environ 8 francs. Il est d'autant plus fort que la pierre est plus petite.

La *valeur* des diamants varie beaucoup avec la couleur, la forme, l'éclat de la pierre, etc... Avant l'arrivée des diamants du Cap, elle croissait à peu près proportionnellement au carré du nombre de carats; depuis, les gros diamants, devenus plus fréquents, ont diminué de prix. — Nous donnons, seulement pour fixer les idées, les chiffres suivants relatifs aux diamants taillés :

1 carat.	2e eau	120 francs		1er blanc	220 francs.
5 carats (1 gramme).	—	1 250	—	—	2 750 —
12 carats (2 gr. 1/2). .	—	3 900	—	—	15 000 —

Certains diamants célèbres ont un prix considérable; nous citerons le Régent (Inde), compté 12 millions, qui pesait brut

Enfin, en 1867, on a trouvé au Cap les premiers diamants d'alluvions et, en 1870, les premiers diamants en place (mines sèches, dry diggings). En quatorze ans, jusqu'en 1886, le Cap avait déjà produit 6 000 kilogrammes de diamants, soit un milliard de francs, et la production annuelle est montée progressivement à 4 millions de carats. Les gisements du diamant sont donc actuellement par ordre d'importance : le Cap, le Brésil et l'Inde, auxquels nous aurons à joindre des centres moins importants comme Bornéo.

En résumé, l'on peut estimer qu'il existe dans le monde entier environ 4 mètres cubes de diamants représentant 2 à 3 milliards de francs et qu'il s'en produit chaque année à peu près 500 kilogrammes. Cependant le diamant ne s'use pas comme le fait l'or lui-même et se perd peu. Il est donc certain que le stock de diamants du monde augmente constamment et, sa consommation étant très limitée, on doit voir, dans le fait que son prix est loin de baisser, une véritable anomalie économique, explicable seulement par les conditions toutes spéciales de son marché et probablement précaire.

PRODUCTION DU DIAMANT

QUANTITÉS EN CARATS. — VALEUR DU CARAT EN FRANCS

INDES	BRÉSIL				
	GISEMENTS DE DIAMANTINA		GISEMENTS DE BAHIA		TOTAL de la PRODUCTION DU BRÉSIL
	Années.	Carats.	Années.	Carats.	
Production totale estimée à 2 000 kilos	de 1723 à 1772	2 000 000	de 1840 à 1850	1 000 000	12 000 000 de carats valant 500 000 000 de francs environ.
—	de 1772 à 1843	2 000 000	de 1850 à 1885	1 500 000	
Production annuelle environ : 8 000 carats	de 1843 à 1885	1 500 000			
	1889	30 000 carats.			

MINES DU CAP [1]

ANNÉES	KIMBERLEY		DE BEERS		DU TOIT'S PAN		BULT-FONTEIN		PRODUCTION TOTALE		Valeur moyenne
	Carats.	Fr.	Carats.	Fr.	Carats.	Fr.	Carats.	Fr.	Carats.	Grammes.	Fr.
1882 (4 mois)	380 955	29,9	140 512	27,92	190 148	40,95	143 936	33,4	856 353	175 552 265	33,40
1883	947 817	22,27	426 728	25,50	435 658	32,90	502 029	25,02	2 312 224	474 007 970	25,475
1884	642 438	24,65	497 596	29,10	498 550	38,07	566 201	25,92	2 204 786	446 981 130	29,025
1885	523 774	21,87	566 233	23,05	560 912	30,72	636 340	22.75	2 287 261	468 888 505	24,325
1886	889 864	24,80	795 895	24,20	700 302	34,85	661 339	24,37	3 047 400	624 717 000	26,75
1887	1 333 832	26,37	1 014 048	25,20	696 756	35,40	602 246	25,42	3 646 702	747 573 910	27,65
1888	1 340 000		1 000 000		580 000		660 000		3 580 000		
1889	800 000		950 000		450 000		540 000		2 740 000		
1890	1 120 000		1 480 000		110 000		110 000		2 800 000		33,580

[1] A partir de 1887, les chiffres précis sur les mines du Cap ont cessé d'être publiés par le *Mining Bord* et sont difficiles à connaître pendant une période de transformation qui a duré jusqu'à la constitution de la de Beers Consolidatet le 1er avril 1889.
Les chiffres pour 1888, 1889 et 1890, extraits des rapports de cette société, portent sur l'année financière commençant au 31 mars.

Bibliographie générale du diamant [1].

1808. Brard. — Traité des pierres précieuses.

1832. Gœbel. — Ueber enstehung der diamanten. (*Karstens. Arch. Chem.*) t. XXXV et XXXVIII.

1835. Brewster. — Observ. rel. to the structure and origin of the dia, mond. (*Geol. Soc. Trans.*, t. III, 1835, et *Philos. Mag.*, t. VII, 1835.)

1855. Babinet. — Du diamant et des pierres précieuses. (*R. des Deux-M.*, 15 févr.)

1855. Berthelot. — Sur les états du carbone. (*Ann. Ch. et Ph.*, 4e série, t, XIX.)

1860. Maskelyne. — On diamonds.

1861. Pole (W.). — Diamonds.

1863. Gœppert.— Die diamanten und ihre Enstehung. (*Schles. Gesells. jahresb.*)

1864. Gœppert. — On the vegetable origin of diamonds. (*N. J. Min.— Q. J. G. Soc. Lond.*, 1865.)

1873. H. Von Baumhauer. — Sur le diamant. (*Archives néerlandaises des Sciences exactes et naturelles*, t. VIII, p. 97. La Haye, 1873.)

1873. New facts concerning the diamond. (*Q. J. G. Soc. Lond.*)

1873. Von Baumhauer. — Sur le diamant. (*Archives néerlandaises*, t. VIII, p. 97.)

[1] Nous rappelons, à l'occasion de cette première bibliographie, que le tableau des abréviations usitées se trouve en tête de l'ouvrage.
Pour la Bibliographie complète du diamant jusqu'en 1886 on peut recourir à l'ouvrage de M. Boutan, *Le Diamant* (Dunod), excellente monographie que nous avons amplement utilisée.

1873. Beaumont. — Diamond boring machinery.

1876. Mallard. — Explic. des phénomènes optiques anomaux. (*Ann. des Mines*, 7e série, t. X.)

1874. Dieulafait. — Diamant et pierres précieuses. (*Bibl. des Merv.* Hachette.)

1878. M. Martin. — Notizen ueber diamanten. (*Zeits. der D. geol. gesellschaft*, t. XXX, p. 321. Berlin, 1878.)

1880. Hannay. — Artificial formation of the diamond. (*Proc. of the Roy. Soc.*, t. XXX.)

1881. Jannetaz. — Diamant et pierres précieuses. (Chez Rotschild.)

1883. Schutzenberger. — Traité de chimie générale, t. III.

1884. Jacobs et Chatrian. — Le diamant. (Chez Masson ; cf. *Temps* du 5 févr. 1884.)

1886. H. Carvill Lewis. — On a diamantiferous Peridotite and the genesis of the diamond. (*Report of the fifty sixth meeting of the british Association for the advancement of Science*, année 1886, p. 667.)

1887. Nordenstroem. — On anvanduing of diamantborr. Maskiner for Malmfyndigheters undersökning. (*Forhandlingar d. geol. föreningens i Stockholm*, t. IX, p. 151. Stockholm, 1887.)

20 janv. 1890. Berthelot. — Les carbones graphitiques. (C. R.)

1892. Fromholt. — Du travail de la pierre par le diamant. (C. R., 6 janvier 1892.)

GISEMENTS DE DIAMANTS DU CAP [1]

Historique. — La découverte des diamants du Cap date de 1867. Cette année-là, un premier diamant fut trouvé sur les bords du Vaal par l'enfant d'un fermier Boer. L'année suivante, les chercheurs commencèrent à affluer aux gisements dits de rivières et l'on découvrit la fameuse *Etoile de l'Afrique du Sud* de 85 carats. Alors, à travers le pays désolé qui, des gisements, s'étend jusqu'au Cap sur 1 000 à 1 200 kilomètres, accoururent tous les aventuriers de la colonie anglaise au risque de périr de faim et de soif pendant la route. Dès 1869, 10 000 blancs travaillaient aux *diggs*.

En décembre 1870, à la ferme de *Dutoits-Pan* on trouva la première *mine sèche* (dry digging), c'est-à-dire le diamant en place dans une roche magnésienne. A ce moment, ce fut une véritable fièvre, comme lors de la découverte de l'or en Californie ; des populations accoururent, des villes sortirent du sol ; on commença par

[1] Collection de géologie appliquée à l'Ecole des Mines, nos 1662 et 1714.

s'installer de force chez le fermier hollandais propriétaire de Dutoits-Pan qui fut trop heureux de finir par vendre sa terre 125 000 francs ; puis on trouva bientôt les trois autres grandes mines : *Bultfontein*, *Old de Beers* et *Kimberley*[1]. — En 1872, il y avait 30 000 personnes dans le pays. Aujourd'hui Kimberley seul est une ville de 20 000 âmes éclairée à la lumière électrique et reliée à la côte par un chemin de fer. C'est le Cap qui fournit maintenant la presque totalité des diamants vendus dans le monde[2]; sa production s'est élevée peu à peu à 4 millions de carats par an ; elle est encore de 2 800 000 carats et, si une fusion ne s'était pas faite entre les principales mines qui se sont ainsi rendues maîtresses des cours pour quelque temps, la valeur du produit aurait pu baisser dans des proportions considérables.

Géographiquement, le pays faisait, jusqu'en 1871, partie de l'Etat libre d'Orange. Lorsque les diamants eurent été trouvés, quelques policemen anglais, sous prétexte de maintenir l'ordre, arrivèrent un jour à Kimberley et remplacèrent le drapeau de l'Etat libre par le drapeau anglais. Depuis 1880, c'est définitivement une dépendance de la colonie du Cap.

Constitution géologique de la région. — La géologie générale de la province du Cap a été exposée par M. Süess[3] qui, en la comparant à celle des Indes et de Madagascar, a tenté de reconstituer l'histoire de la mer des Indes dans les temps géologiques. La carte ci-jointe (fig. 2)[4] destinée à nous servir également pour la description des mines d'or du Transvaal, a été dressée par nous : pour le Sud d'après lui, pour le Nord d'après divers autres documents anglais ou allemands[5].

Le trait caractéristique de la géologie de l'Afrique méridionale,

[1] Les noms de ces mines proviennent, l'un de celui du propriétaire : de Beer, les trois autres de ceux des fermes.

[2] On estimait récemment la faculté d'absorption du marché du monde entier à environ 2 000 000 de carats par an.

[3] Antlitz der Erde, t. I, 2e partie, p. 400.

[4] Carte extraite des *Ann. des Mines :* (L. De Launay ; les Mines d'or du Transvaal). (*An. des Min.*, 1891.)

[5] Hævernick (*Petermanns Mittheil*, t. XXX, p. 441, 1884), Hübner, *Witwatersrand review*, etc.

c'est, on le sait, l'existence, au-dessus d'un soubassement de gneiss et de granite, de terrains anciens, siluriens, dévoniens et carbonifères, fortement plissés et érodés que surmontent à leur tour, en discordance de stratification, les grands plateaux horizontaux du *karoo*, comprenant des couches sans fossiles marins de plusieurs milliers de pieds d'épaisseur, allant depuis le permien et peut-être même le carbonifère supérieur jusqu'à l'infralias.

Fig. 2.

Ce karoo, que semblent prolonger dans l'Inde des formations analogues, a été coupé le long de la côte orientale par un affaissement qui a amené sur la mer des Indes actuelles et sur l'Arabie l'invasion d'une mer crétacée ayant laissé quelques dépôts horizontaux sur la côte d'Afrique : vers la baie d'Algoa (néocomien, formations de rivage), dans le Natal et le Zoulouland (crétacé) ; à la Fishbay (cénomanien inférieur) ; aux îles Elobi, au Nord de l'Equateur (crétacé), etc.

Auparavant il devait exister là, d'après M. Süess, un immense

quartzeux avec schistes bruns constituant les chaînes du Drackensberg, etc. On y a trouvé des paleoniscus et surtout des restes de reptiles carnivores : micropholis, galesaurus, oudenodon, dicynodon, etc., que M. Owen a considérés comme triasiques.

Fig. 3. — Carte des gisements diamantifères de l'Afrique australe, d'après M. Boutan.

Cet étage est surmonté par des grès blancs et jaunâtres avec schistes rougeâtres et fréquentes intercalations de houille à la base.

Au milieu du karoo moyen, les gisements diamantifères se présentent sous forme de cheminées verticales de 200^{m} à 300^{m} de diamètre, remplies d'une roche bréchiforme à pâte de bronzite hydratée pénétrée en plus ou moins grande quantité de calcite isolée en veines et de silice opaline et contenant des diamants probablement arrachés à un terrain inférieur. Ces cheminées

ont dû être arrachés à une roche subjacente traversée par l'éruption de brèche serpentineuse.

Au point de vue de la genèse du gîte, on a attiré l'attention sur les faits suivants :

1° Si l'on examine une coupe théorique de la mine de Kimberley, on voit que, sur 85 mètres à partir de la surface, la cheminée reste dans des schistes. Comme ces schistes contiennent des filets de charbon, certaines personnes ont attribué d'abord à la

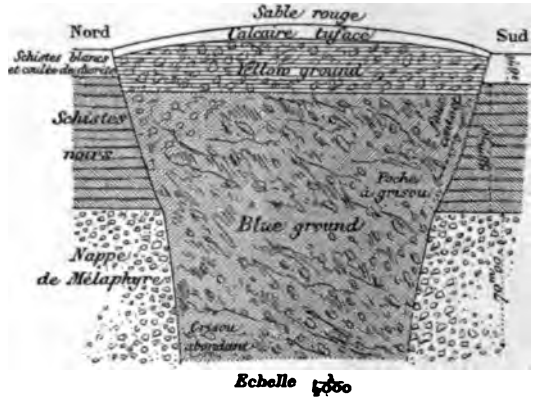


Fig. 4. — Coupe théorique de la mine de Kimberley en 1886, d'après M. Boutan.

distillation de ce charbon la production du diamant. La persistance des diamants à la traversée d'une nappe de mélaphyre (hard rock) de 140 mètres d'épaisseur, trouvée au-dessous aussi bien à de Beers qu'à Kimberley, a montré que cette théorie n'avait aucune valeur. Au-dessous du hard rock, on a encore recoupé à Kimberley comme à de Beers des quartzites sur 144 mètres, puis des schistes qui durent à la profondeur actuellement reconnue de 400 mètres.

2° Le grisou est assez fréquent dans des poches tapissées de calcite au contact de la roche et du schiste encaissant, non seulement dans les schistes, mais dans le mélaphyre. En outre, d'après M. Moulle, auteur d'un mémoire important sur la géologie de ces mines[1], le blue ground en contient d'assez grandes quantités.

[1] *Ann. des Mines*, 8e série, t. VII, 1885.

maintenant 400 mètres. C'est la mine qui a produit le plus de diamants dans la région, mais ils semblent souvent de qualité un peu inférieure. Depuis quelques années, les difficultés relatives à l'exploitation ont ralenti sa production, tandis qu'elle croissait rapidement à de Beers où la proportion de diamants s'est, en outre, un moment accrue en profondeur.

La teneur moyenne en diamants était en 1887 à Kimberley d'un peu moins de 5 carats (soit 113 francs) au mètre cube (1ᵏ20 à 1ᵏ25 au load). Un approfondissement général de 1 mètre y correspondait à ce moment à une production de 2 200 000 francs de diamant alors qu'à Old de Beers, pour une proportion de diamants un peu plus faible (1ᵏ15 à 1ᵏ20 au load), le même approfondissement donnait 3 825 000 francs, le nombre des bons claims[1] étant de 285 à de Beers contre 140 à Kimberley. Aujourd'hui Kimberley et de Beers étant syndiqués, la teneur moyenne est d'environ 3 carats 50 (1ᵏ au load).

Les plus beaux diamants ont été ceux de *Dutoitspan* où ils ont atteint une valeur moyenne de 35 francs le carat, tandis qu'elle n'était que de 25 à Kimberley. Depuis 1890, l'extraction est suspendue dans ce gisement.

L'exploitation de ces mines a passé par une série de vicissitudes qui tiennent du roman :

Au début, les terrains productifs ayant été envahis de force par les mineurs, le gouvernement anglais, impuissant à maintenir l'ordre, fut conduit à acheter lui-même la propriété du sol pour indemniser les propriétaires.

Alors, suivant l'habitude des Riverdiggins (explorateurs des minerais de rivière), on partagea le terrain en *claims*, carrés de 9ᵐ,45 de côté, délimités par des lignes sur le sol et appartenant au premier occupant qui était forcé de travailler constamment seul et sans aide. Sept absences d'un jour, et il était déchu de son droit.

Bientôt, on se heurta à des difficultés inextricables. D'abord, manquant d'eau pour laver, on écrasait le minerai avec des battoirs et, pour se débarrasser des résidus, chacun les jetait chez son

[1] Concessions. Voir plus bas, même page.

voisin. Il fallut imposer aux mineurs l'obligation de transporter ces débris à une certaine distance : distance qui se trouva souvent trop faible, lorsque, les trous s'approfondissant, on dut adoucir la pente des talus.

Puis on dut créer une servitude de passage ; tous les claims de rang pair furent transformés en une route avec des files de poteaux munis de poulies destinés à l'extraction des claims de rang impair. Les champs miniers prirent l'apparence d'une série de fossés parallèles séparés par des murs étroits portant des routes, murs qui s'éboulaient de temps à autre en précipitant hommes, chevaux et voitures au fond des vides. Après divers accidents de ce genre, on renonça au système et on établit des câbles va-et-vient inclinés allant jusqu'au bord de l'excavation. Quelques photographies, reproduites dans l'ouvrage de M. Boutan sur le diamant, auquel nous empruntons ces détails [1], donnent une idée de ce qu'était en 1874 la mine de Kimberley avec ses innombrables trous carrés d'inégale profondeur qui lui donnaient l'aspect d'une sorte de ruine fantastique et le réseau de 1 600 câbles flottant dans l'air.

Mais, comme chacun avait intérêt à se débarrasser de son eau et de ses éboulis dans les claims contigus, on s'efforçait de rester toujours un peu en retard sur ses voisins ; en outre, on exagérait la raideur des talus ; il en résulta en 1882 une succession d'écroulements à la suite desquels l'exploitation se trouva momentanément suspendue et un affolement complet de la spéculation qui s'était portée sur ces mines. Les actions de de Beers tombèrent de 10 livres à 1 livre. Puis on se remit à l'œuvre en substituant à l'ancienne méthode à ciel ouvert une méthode par passes et tunnels consistant à faire communiquer le fond de la tranchée par des galeries avec des puits d'extraction situés à une distance suffisante des talus pour être permanents ; et, depuis 1887, on a organisé dans quelques mines une méthode rationnelle d'exploitation souterraine par dépilage.

Vers cette époque, en effet, les innombrables compagnies diamantifères se sont peu à peu fondues d'abord en un petit nombre,

[1] P. 167.

puis finalement, le 1er avril 1889, en une seule, la de Beers Consolidate C°[1], de manière à permettre des travaux d'ensemble, des installations plus perfectionnées et une réduction des frais généraux autrefois exorbitants. Plusieurs puits ont été foncés, l'un de 400 mètres à Kimberley, l'autre de 300 mètres à de Beers et ces puits ont été reliés au gîte par des travers-bancs de 350 mètres de long.

Le *traitement du minerai* consiste simplement à le laisser se désagréger à l'air pendant près de six mois, puis à le détourber et trier à la main. Les pertes par vol représentent un chiffre considérable.

Les matières premières, quoique leur prix ait bien diminué depuis la construction du chemin de fer du Cap à Kimberley, revenaient encore en 1890 : le charbon à 217 francs la tonne, l'eau à 3 fr. 70 le mètre cube. Aussi a-t-on fait récemment des essais pour utiliser le lignite du Cap.

En 1884, il travaillait 1 500 blancs (surveillants) payés de 400 à 800 francs par mois et 11 000 nègres gagnant de 31 à 37 francs par semaine.

Cette année-là, les dépenses ont été pour les quatre grandes mines :

Combustible	8 000 000 francs
Eau	1 500 000 —
Dynamite	2 500 000 —
Huile, graisse	600 000 —
Main-d'œuvre	27 200 000 —
Chevaux	2 300 000 —
Impôts	1 400 000 —
Entretien du matériel	3 600 000 —
Frais généraux et commerciaux	3 000 000 —
Courtage	600 000 —
	50 700 000 —

Le prix de revient a été en 1884 :

Dutoitspan	18 francs le m³
Bultfontein	21 fr. 6 —
de Beers	35 francs —
Kimberley	83 — —

[1] Voir Boutan, *Génie civil*, 1886, p. 6. — La Compagnie actuelle de de Beers est aujourd'hui à peu près la seule à extraire les diamants des mines de Kimberley, de Beers, Dutoitspan, Bultfontein, etc.

VALEUR MOYENNE DU CARAT DANS LES QUATRE GRANDES MINES DU CAP

ANNÉES	KIMBEREY	DE BEERS	DUTOITSPAN	BULTFONTEIN	MOYENNE
1882 (4 mois)	29 fr. 90	27 fr. 95	40 fr. 95	33 fr. 40	33 fr. 40
1883	22 275	25 50	32 90	25 025	25 475
1884	24 65	29 10	38 075	25 925	29 025
1885	21 875	22 05	30 725	22 75	24 325
1886	24 80	24 30	34 85	24 375	26 75
1887	26 375	25 20	35 40	25 425	27 65
1889[1]	»	»	»	»	40 70
1890	»	»	»	»	37 00

[1] Ce tableau met bien en évidence la hausse qui a suivi le groupement des diverses mines en une seule société en 1888 et 1889.

Bibliographie des diamants du Cap.

1863. Adler. — Diamanten in Sud Afrika. (*K. K. geol. R. A.*, 1865, et *N. J. Min.*)

1871. Gilfillen. — On the diamond. Districts of the Cap of good Hope. (*Q. J. g. Soc. Lond.*)

1871. Stow. — On the Diamond gravels of the Vaal-River (*South-Afrika*). London.

1872-73. J. Paterson. — On a visit to the Diamond fields of. *South Africa*, with notices of geological Phenomena by the Wayside. (*Proceedings of the geologist's association*, t. III, p. 73. Londres, 1872-73.)

1872. Shaw. — On the geology of the Diamond fields. (*Q. J. g. Soc. Lond.*)

1873. Cohen. — Diamanten in Sud Afrika. (*N. J. Min.*)

1874. Desdemaines-Hugon. — Les champs diamantifères du Cap. (C. R., t. LXXVII, et *R. des Deux-M.* du 1er juin 1874.)

1874. Dunn. — On the mode of occurrence of diamond in South Africa. (*Q. J. g. Soc. Lond.*; cf. 1877 et 1881.)

1874. Masskelyne et Flight. — Diamantiferous rock of South Africa. (*Q. G. g. Soc. Lond.*)

1877. Stanislas Meunier. — Sable diamantifère de Dutoitspan. (C. R., t. LXXXIV.)

1878. Mc Patrickson. — Voyage aux mines de diamant du sud de l'Afrique. (*Tour du Monde.*)

* 1879. Fouqué et Michel Levy. — Sur les roches accompagnant le diamant dans l'Afrique australe. (*B. S. M.*)

* 1879. Fouqué et Michel Lévy. — Sur la présence du diamant dans une roche ophitique de l'Afrique australe. (C. R., t. LXXXIX, p. 1125. Paris, 1879.)

* 1879. Chaper. — Sur les mines de diamant de l'Afrique australe, in-8°, 7 p. (*Bull. Soc. min. de France*, 1879, n° 7.)

côte, et à 311 kilomètres au Nord d'Ouro Preto, capitale de la province. Il y en a d'ailleurs plusieurs autres compris dans les provinces de Minas Geraes et Bahia et un peu dans celle de Goyaz. Ce sont : *Grao Mogor* (au Nord de Diamantina) ; *Bagagem* et *Abaethe* à l'Ouest (l'Abaethe est un affluent du Rio San-Francisco) ; *Cincora* et *Salabro* dans la province de Bahia, etc.

Fig. 5. — Carte des gisements diamantifères du Brésil, d'après M. Boutan.

Toute la région diamantifère de Diamantina et Grao Mogor forme, d'après M. de Bovet, un vaste plateau situé entre 1 100 et 1 200 mètres. Les diamants se trouvent, soit sur ce plateau, soit dans les rivières qui en découlent, c'est-à-dire le Jequitinhonha, le R. Doce, le R. des Velhas, etc..., toutes à la fois aurifères et diamantifères. On distingue donc deux catégories de gisements : ceux de plateaux et ceux de rivières, les derniers beaucoup plus importants résultant du remaniement et de la concentration des premiers.

Si l'on cherche à remonter au gisement primitif du diamant, on constate d'abord que toutes les alluvions riches sont en relation avec certaines quartzites micacées, peut-être huroniennes (réputées flexibles d'après des échantillons exceptionnels), qu'on nomme les itacolumites[1] et, en effet, on exploite à Grao Mogor (à 300 kilomètres au Nord de Diamantina) des itacolumites diamantifères associées avec des conglomérats à galets de quartz contenant, d'après M. Gorceix, des diamants intacts avec de la pyrite martiale et de la martite sans trace d'usure.

[1] Dufrénoy, dans son *Traité de minéralogie*, décrivait déjà des itacolumites diamantifères.

Des conglomérats analogues ont été signalés par M. Orville Derby à Bom Successo et Boa Vista ; et enfin, à Saint-Jean de Chapada, on extrait, d'après M. de Bovet, des diamants situés dans une lentille argileuse, intercalée au milieu de quartzites dans des conditions analogues à celles du gîte de topazes de Boa Vista (près d'Ouro Preto).

Ces itacolumites et ces conglomérats constituent toutefois un terrain sédimentaire où l'on a généralement admis que le diamant avait été apporté avec les quartz arrachés sans doute à des pegmatites anciennes de la Serra do Mar. Mais M. Gorceix s'est élevé très vivement contre cette opinion. D'après lui, les diamants de Grao Mogor se trouvent en place, dans de véritables filons de quartz traversant les conglomérats et sont le produit d'actions secondaires qui ont apporté en même temps l'or à l'état de pyrite aurifère, les tourmalines, l'amphibole, les oxydes de titane dans des fentes ou des veinules interstratifiées parfaitement localisées. On ne rencontre au contraire aucun diamant dans les alluvions à pierres colorées (cymophane, triphane, andalousite, béryl, etc.) provenant du remaniement de la pegmatite.

Quoi qu'il en soit, les diamants des itacolumites et des conglomérats ont subi, sous l'action des pluies tropicales, une décomposition superficielle extrêmement intense et des phénomènes d'alluvionnement ont commencé par concentrer ces gemmes sur les plateaux dans un poudingue formé de gravier grossier et de terre rouge appelé *gorgulho*.

Puis une seconde concentration a produit dans les lits des rivières le gisement principal du diamant, un mélange d'argile et de gravier quartzeux appelé *cascalho* et bien connu dans tout le Brésil, la Guyane, le Paraguay, etc., où l'on trouve, avec le diamant, une série d'autres minéraux, dits *formacoes*[1] : le rutile, l'anatase, la brookite, le fer titané, le fer oligiste et le fer magnétique ; en outre, moins abondamment, le quartz, le disthène, la tourmaline, l'or, des chlorophosphates ; enfin du grenat, du zircon, de la topaze, du sphène, de la cassitérite, etc.

Le cascalho est loin d'être uniformément réparti dans le lit de

[1] Formations.

la rivière[1]. Il y forme au contraire une série de poches, de puits (*poçāo*), de criques, de marmites de géants torrentielles appelées *caldeirões* (chaudières) qui sont les parties riches en diamants et où l'on trouve aussi l'or en Guyane.

Les diamants, déjà un peu roulés dans le gorgulho, le sont plus dans le cascalho ; mais, en même temps, ils sont plus nombreux, les remous de la rivière ayant dû opérer une sorte de préparation mécanique. Certains caldeirões ont donné jusqu'à 8 et 10 000 carats de diamants et l'on parle de grottes abandonnées par la rivière où, lorsqu'on pénétra pour la première fois, après avoir enlevé la première couche de sables stériles, on vit les gemmes scintiller de tous côtés.

Exploitation. Données économiques. — L'exploitation au Brésil est assez simple. Quand il s'agit d'un gisement de rivière (et c'est le cas le plus général) on commence par mettre le lit à sec pendant l'été au moyen de deux barrages, l'un à l'amont, l'autre à l'aval (ce dernier pour éviter le reflux des eaux) et d'un canal de dérivation. Les cours d'eau étant profondément encaissés dans des sortes de cañons, tous ces travaux ne peuvent être que provisoires, car la première crue les emporte ; puis, le lit dégagé, on enlève le gravier stérile et ensuite le cascalho qu'on met de côté pour le traiter ailleurs pendant la saison des pluies. Ces laveries de rivières sont dites lavras de la saison sèche par opposition à celles des plateaux où l'on profite au contraire, pour avoir l'eau destinée au lavage, de la période pluvieuse.

Le traitement du cascalho comprend ensuite : 1° un détourbage lorsque le minerai est argileux ; 2° un traitement au bac où l'on jette sur lui de grands baquets d'eau pour le débarrasser de son sable ; 3° un lavage à la batée fait comme pour l'or par des laveurs très habiles. Au moyen d'un mouvement spécial, on amène le diamant à la surface, tandis que l'or reste au fond.

Le grand défaut des exploitations brésiliennes, c'est leur caractère précaire ; les frais d'établissement sont faits pour une saison

[1] C'est un dépôt assez récent, car on y a trouvé à diverses reprises des pointes de flèches.

et, comme on n'a pas tenu note des emplacements des anciens travaux, il arrive souvent qu'on retombe sur un point déjà fouillé. On a tenté, depuis quelques années, divers efforts pour installer une industrie plus perfectionnée en captant les chutes d'eau et transmettant la force électriquement à des engins mécaniques

Les cristaux du Brésil sont rarement gros ; ceux de 4 carats sont une rareté ; le plus gros qu'on ait trouvé, l'Etoile du Sud, pesait brut 254^{k} et demi ; mais ils sont généralement plus beaux qu'au Cap, surtout ceux de Bagagem et de Canavieiras.

On peut estimer en gros qu'on a extrait les quantités suivantes :

De 1723 à 1823, 4 millions de carats à Diamantina.

De 1843 à 1885, une moyenne de 5 000 par an (350 seulement en 1885), soit 1 500 000 carats ; dans les autres gisements de la province de Minas Geraes : 1 500 000 carats ; à la Chapada (Bahia), 2 500 000 carats.

En additionnant le tout, on arriverait, pour la production du Brésil depuis l'origine, à 12 000 000 de carats, c'est-à-dire 2 tonnes et demie représentant 500 millions.

En 1889, on a extrait 30 000 carats.

Le *régime légal* a souvent varié ; d'abord on payait tant par tête d'esclave employé ; puis les gisements furent donnés en ferme ; de 1772 à 1830, le gouvernement a exploité lui-même. Enfin la loi actuelle, qui date de 1875, met aux enchères la concession d'un lot de terrain, concession ne pouvant être accordée pour plus de dix ans à un particulier et plus de quinze ans à une Compagnie.

Bibliographie des diamants du Brésil.

1834. — Diamond district of Brazil. (*Westminster Review*, oct. 1834.)

1841. Claussen. — Gisements du Brésil. (*Bull. Ar. de Bruxelles.*)

1845. Helmreichen. — Ueber das vorkommen der diamanten in der provinz Minas Geraes. (Wien.; cf. *B. S. G.*, t. IV.)

1846. Helmreichen. — Geogn. vorkommen der diamanten auf der Serra do Grao Mogor (Vienne).

1846. de Suzannet. — Détails sur la Serra de Grao Mogor. (Dentu.)

1852. — Sur l'exploit. du diamant dans la province de Bahia (Brésil). (*Ann. des Min.*, 5e, t. II, p. 594.)

1855-56. Damour. — Recherches sur les sables diamantifères du Brésil. (*B. S. G.*, t. XII.)

1857. Heusser et Clary. — Gisement du diamant dans la province de Minas Geraes (Brésil). (*Ann. des Min.*, 5e, t. XVII, p. 289; cf. *Z. d. d. géol. g.*, 1860.)

1869. Burton. — The Highlands of the Brazil (London).

1870. Agassiz. — Scientific Results of a journey in Brazil. (Boston.)

— Andrada. — An account of the diamonds of Brazil. (*Nich. Journ.*, t. I.)

1878. O.-A. Derby. — A geologia da regiao diamantifera da provincia do Parana no Brazil. (*Archivos do Museum nacional do Rio-de-Janeiro*, t. III. Rio-de-Janeiro, 1878.)

1879. O.-A. Derby. — On the diamantiferous region of Parana (Brazil). (*Proceedings of american philosophical Society*, t. XVIII, p. 251. Newhaven, 1879.)

1880. Doll. — Zum Vorkommen des Diamants im Itakolumite Brasiliens und in den Kopjen Africas. (*Verhandlungen der K. K. geologischen Reichsanstalt.* Vienne, 1880.)

1881. O.-A. Derby. — Observações sobre algunas rochas diamantiferas da provincia do Minas Geraes. (*Archivos do Museum nacional do Brazil*, t. IV, p. 121. Rio-de-Janeiro, 1881.)

* 1881-82. Gorceix. — Sur les gîtes diamantifères de la province de Minas Geraes (Brésil). (*B. S. G.*, 3e série, t. X, p. 134. Paris, 1881-82.)

1881. Gorceix. — Riquezas mineraes da provincia de Minas. (Ouro Preto.)

* 1881. Gorceix. — Sur les gisements diamantifères de Minas Geraes. (C. R., t. XCIII.)

* 1882. Gorceix. — Sur les gisements du Brésil. (*B. S. M.*, t. III et V; *R. Sc.*, 6 mai 1882.)

1882. Orville-Derby. — Mode of occurrence of the diamond in Brazil. (*Am. J. of Sc.*, t. XXIV, p. 34. Newhaven, 1882.)

1883. Gorceix. — Gisement de diamant de Grao Mogor. (*B. S. G.* 3e, t. XI; cf. C. R., XCVIII, p. 1016 et 1446.)

1884. Gorceix. — Noticia sobre os cascalhos diamantiferos. (*Annaes da Escola da minas de Ouro Preto*, 1884, p. 197. Rio-de-Janeiro, 1884.)

1884. Gorceix. — Estudo dos mineraes que acompanhão o diamante na jazida de Salobro. (*Annaes da Escola de minas de Ouro Preto*, 1884, p. 219. Rio-de-Janeiro, 1884.)

* 1884. de Bovet. — L'industrie minérale dans la province de Minas Geraes. (*Ann. des Min.*, 8e, t. III.)

* 1884. de Bovet. — Note sur une expl. de diamants près de Diamantina. (*Ann. des Min.*, 8e, t. V.)

* 1884. Gorceix. — Etude des minéraux qui accompagnent le diamant dans le gisement de Solobro (Brésil).

1885. Gorceix. — Lettre sur l'Itacolumite. (*B. S. G.*, 3e série, t. XIII, p. 272. Paris, 1884-85.)

1885. de Bovet. — Note sur l'état actuel de la législation des mines au Brésil. (*Ann. des Min.*, 8e, t. VII.)

1886. Chatrian. — Sur le gisement de diamants de Salobro (Brésil). (*Bull. de la Soc. franç. de min.*, t. IX, p. 302. Paris, 1886.)

* 1887. Gorceix. — Sur le gisement de diamants de Goraes (Brésil). (C. R., t. CV, p. 1139.)

DIAMANTS DE L'INDE

Les gisements de l'Inde, qui ont été exploités peut-être 300 ans avant notre ère et qui ont fourni les plus beaux diamants anciennement connus, n'ont aujourd'hui qu'une importance très secondaire. La production annuelle ne dépasse pas 2 à 3 millions de francs.

Le nom qui les symbolise dans toutes les imaginations, Golconde, n'est pas celui d'une mine, mais d'un marché ; les gisements sont : du Sud au Nord, *Kadapah*, *Bellary*, *Karnul*, *Randapali*, *Sambalpur* et *Panna*. — Ils sont assez mal connus et, pour la plupart, presque abandonnés. A l'Est de Golconde par exemple, à Randapali près de Mazulipatam, d'où viennent le Grand Mogol, le diamant bleu de Hope, le Régent, etc., il ne reste plus que deux petites mines insignifiantes.

Au point de vue géologique, on peut distinguer quatre catégories de gisements :

1° Il existe des gîtes sédimentaires anciens que les géologues de l'Hindoustan rapportent au silurien : groupe de Rewah, de la formation wyndhienne et grès de Banaganpilly de la formation de Karnul. Ces grès diamantifères, qu'on peut comparer aux itacolumites du Brésil et où l'on retrouve la même association de l'or et du diamant, ne seraient, d'après M. Chaper[1], que le produit d'un premier remaniement. Il a en effet constaté aux environs de Bellary, sur un plateau de schistes micacés traversés par de nombreux filons de granulite rose épidotifère, que les ravinements produits par les pluies contenaient des diamants arrachés au sol sous-jacent et qui, d'après lui, proviendraient de la granulite ;

2° Des alluvions plus ou moins anciennes contiennent des diamants associés à des saphirs, des rubis, des topazes, etc... Le meilleur type de ce genre de gîtes se trouve à *Panna* dans le Bun-

[1] *C. R.*, 14 janvier 1884.

delkhand, au Nord de l'Inde, où sont les seules mines un peu activement exploitées aujourd'hui.

D'après Jacquemart, on rencontre là, au-dessus d'un conglomérat silurien de la formation wyndhienne, un gravier ferrugineux provenant du remaniement de ces terrains anciens qu'on appelle le *lalkakrou* (gravier rouge). La plupart des exploitations superficielles, dites *djilas*, portent sur ce lalkakrou. D'autres, plus profondes, appelées *gahivas*, vont chercher le diamant au-dessous, dans le conglomérat silurien, assez analogue, d'après les descriptions, à celui de Grao Mogor, au Brésil. C'est une brèche siliceuse à fragments de jaspe rouge, de quartz lydien, de quartz laiteux, etc., dure à travailler et nécessitant, pour être triée, un premier broyage coûteux;

Fig. 6. — Carte des gisements diamantifères de l'Inde, d'après M. Boutan.

3° Certaines rivières actuelles apportent encore aujourd'hui, dans leurs crues, du diamant venant des alluvions anciennes. C'est le cas, par exemple, à Sambalpur;

4° Enfin nous citerons, pour leur intérêt géologique, des gisements situés à *Majgama*, du côté de Panna, et assez mal connus jusqu'ici, qui ont été décrits comme des cônes remplis d'une boue verte diamantifère analogue à celle du Cap.

D'une façon générale, les diamants semblent en trop faible proportion dans l'Inde pour motiver de grandes installations à l'européenne. Les Indous seuls, qui se contentent pour vivre d'un salaire de 0 fr. 50, peuvent se livrer à leur recherche.

Comme dans tous les pays orientaux, l'exploitation du diamant a été, de même que celle de l'or, le privilège des princes. Aujourd'hui les Anglais laissent librement chercher et vendre des

diamants à la condition d'avoir un permis de recherches, comme pour tous les travaux miniers. D'ailleurs, comme les rajahs ont conservé leur passion pour les pierres précieuses, l'Inde absorbe aujourd'hui des diamants plutôt qu'elle n'en exporte.

Bibliographie.

1570. César Frédéric. — Gisements de Golconde. (*Hakluyts Voyagen*, 1570.)
— Adam. — Mines du Bundelkhand. (*Journal Ass. scient. Bengal*, t. X.)
1814. Heyne. — Mines de l'Inde. (*Tracts, London.*)
1820. Anderson. — Mines de Golconde. (*Edinb. Philos. Journal*, t. III.)
1833. *Anonyme.* — Mines du Bundelkhand en 1833. (*Indian review*, t. III.)
1836. Ritter. — Mines de l'Inde. (*Erdkunde asien*, t. VI.)
* 1841. Jacquemont. — Voyage dans l'Inde.
* 1865. King. — Mines de Golconde, Kadapah, Karnul. (*Records geol. survey India*, t. II et X.)
1869. Grandidier. — Voyage dans les prov. mérid. de l'Inde. (*Tour du Monde.*)
1870. Grant. — Mines de Sambalpur et mines de Wairagarh (*Centr. prov. Gazeeter.*)
1872. Kelsall. — Gisements de Bellary. (*Bellary district Manual.*)
1874. Rousselet. — L'Inde des Rajahs.
1874. Atkinson. — Mines du Bundelkhand. (*N.-West. Prov. Gazeeter.*)
1875. Gribble. — Gisements de Kadapah. (*District manual.*)
1875. Kern. — Diamants de l'Inde. (*Roy. asiat. Soc.*, t. VII.)
* 1880. Ball. — Mines de l'Inde (Sambalpur, etc.). (*Rec. geol. survey India*, t. X; *Scient. Proc. roy. Dublin Soc.*, 1880; *Journal Ass. scient. of Bengal*, t. L; *Journ. of the royal geol. Soc. of Ireland*, t. XVI, n° 1, p. 10.)
1881. Ball. — Diamonds, Coal and Gold in India. (London.)
1882. Garbe. — Die Indischen mineralien. (Leipzig.)
* 1884. Chaper. — De la présence du diamant dans une pegmatite de l'Hindoustan. (C. R.)
* 1886. Chaper. — Sur une pegmatite diamantifère de l'Hindoustan. (*B. S. G.*)
* 1886. Boutan. — Le Diamant. (Chez Dunod.) — Contient une bibliographie antérieure.

DIAMANTS DE BORNÉO, D'AUSTRALIE, ETC...

Quelques mots seulement, pour terminer, sur les autres gisements du diamant.

Bornéo en exporte annuellement à peu près 5,000 carats. Il existe deux gisements principaux, l'un dans le bassin du fleuve

Kapoeas, où l'on exploite également de l'or d'alluvions, l'autre à l'est vers Bandjermassin. Le diamant se trouve dans des couches de diluvium, des amas de graviers ou des alluvions de rivières.

Fig. 7. — Carte des gisements diamantifères de Bornéo, d'après M. Boutan.

En *Australie*, certaines alluvions diamantifères qui n'ont encore que peu d'importance semblent dans le voisinage d'éruptions basaltiques.

En Europe, on a prétendu avoir trouvé des diamants dans l'*Oural ;* on en cite également un (et un seul) qui aurait été rencontré en *Bohême*, à Dlaskowitz, à 60 kilomètres au Nord-Ouest de Prague dans des sables d'où l'on extrait du grenat rouge ou pyrope et qui contiennent aussi du spinelle, du corindon, de la tourmaline, etc... Ces deux faits demanderaient confirmation.

Bibliographie.

1830. Engelhardt. — Die Lagerstätte der Diamanten im *Ural* Gebirge.

1831. Gœbel. — Uber das vorkommen der diamanten im *Oural*. (*Schweiger Journ.*, t. LXI; *Jahrb.*, t. I.)

1838. Parrot. — Notice sur les diamants de l'*Oural*. (*Mém. Ac. I. des Sc. de Saint-Petersbourg*, 6e série, t. I, p. 21. Saint-Pétersbourg, 1838.)

1853. Cranfurd. — On the geography of *Borneo*. (*Journ. of the Roy. geogr. Soc. of London.*)

1870. Koscharow. — Diamants de l'*Oural*. (*Materialen zur Mineralogie Russlands*. Saint-Pétersbourg.)

1870. Krejcci. — Diamanten in Böhmen. (*K. K. geol. R. A.*, et *N. J. Min.*)

1875. Veerbeck. — Gisements de Bornéo. (*Jaarbuch van het mijniwesen im Oost Indie.*)

*1879. Chaper. — Sur quelques faits observés dans le massif de l'*Oural*. (*B. S. G.*, t. VIII.)

1879. Schafautz. — Découverte du diamant en *Bohême*. (C. R., t. LXX.)

1879. Silliman. — Gisements diamantifères de l'*Amérique du Nord*. (*Am. J. of Sc.*, t. VIII.)

1879. Silliman. — Diamants d'*Australie*. (*Am. J. of Sc.*, t. XV.)

1879. Th. Posewitz. — Das Diamant vorkommen in *Borneo*. (*Mittheilungen der K. geol. Anstalt*, t. VII, p. 155. Budapest.)

1886. Ball. — Discovery of a diamond in *Ireland* in the year 1886. (*The scientific. Proceedings of the royal Dublin Society*, t. V, p. 332. Dublin, 1886.)

RÉSUMÉ SUR L'ORIGINE DU DIAMANT

La question de l'origine du diamant et de son mode de formation reste encore aujourd'hui très obscure; nous allons résumer ici les quelques observations qui peuvent permettre de concevoir sa solution et les théories qui ont été émises.

Les gisements habituels du diamant, étant des alluvions, ne nous apprennent guère qu'un fait à retenir : son association habituelle avec l'or et divers minéraux : fer titané et oxydes de titane, magnétite, topaze, saphir, rubis, etc., qui peuvent sans doute avoir une origine commune, mais peuvent également s'être trouvés réunis dans la préparation mécanique produite par les eaux, par un rapprochement dans la densité et dans la dureté.

Parmi les gisements en roches, le premier est celui du Cap. Là, l'égale répartition des diamants dans la brèche à pâte de bronzite semblerait appeler une comparaison avec des cristaux de première consolidation formés en profondeur dans un magma basique et magnésien saturé de gaz, en particulier d'hydrocarbures : cristaux qui auraient été emportés vers la surface par l'éruption d'une partie de ce magma à travers les couches du karoo à la suite d'une explosion provoquée peut-être par l'arrivée d'eau jusqu'à la roche incandescente et par sa dissociation. Cette explosion paraît nécessaire pour expliquer la perforation du karoo et des roches sous-jacentes (ayant donné des fragments dans la roche) par des cheminées à parois si droites et à section circulaire. L'arrivée du diamant serait là postérieure au karoo moyen puisque la brèche le traverse et pourrait, si nous supposons une introduction des eaux de la mer, être du karoo supérieur, c'est-à-dire environ de l'infralias, puisque ensuite toute l'Afrique a été émergée.

M. Daubrée a rapproché de ce gisement la présence annoncée

par lui, l'année dernière, du diamant dans les météorites. Depuis longtemps, on rattachait au diamant certaines pseudomorphoses constatées dans les météorites; on a trouvé ce minéral même, bien déterminé quoique en poussière très fine, dans une météorite tombée le 4 septembre 1889 en Russie, dans le gouvernement de Penza, à Novo Urei[1]. On a également cité la présence au Cap de diamant, non plus dans la brèche, mais dans la serpentine proprement dite (produit d'altération du péridot ou de l'enstatite). Dès lors, pour cet éminent géologue, les diamants du Cap proviennent des masses internes du globe comparables aux météorites et, comme elles, formées dans son hypothèse, de carbures de fer, magnésium, etc., accompagnés par le péridot qui en est la scorie.

Le diamant et le graphite qui lui sont associés seraient, en conséquence, soit des produits de cristallisation directe du carbone associé au fer (comme cela se produit chaque jour pour le graphite dans la fonte), soit des dérivés du carbure d'hydrogène formé par ce carbone avec l'hydrogène emprunté sans doute à la dissociation de l'eau.

A défaut de la synthèse du diamant, tant de fois essayée par la chaleur ou l'électricité et jusqu'ici jamais réalisée, les belles études chimiques de M. Berthelot sur les états multiples du carbone peuvent nous apporter quelque lumière de plus sur cette question[2]. On sait que M. Berthelot a considéré les divers états du carbone comme des condensations polymériques du véritable élément désigné sous ce nom, condensations manifestées, d'une part par les conditions de formation de chacun d'eux, de l'autre par leurs produits d'oxydation. C'est ainsi que, pour le graphite, on peut distinguer : 1° celui qui cristallise par refroidissement de la fonte surcarburée; 2° le graphite naturel ou plombagine; 3° le graphite obtenu par l'électricité. Ces divers graphites soumis à l'oxydation donnent des oxydes dont les chaleurs de formation sont entre elles comme les nombres 4, 5 et 7. Le diamant serait, lui aussi, un terme de condensation plus avancé du carbone, pro-

[1] Le 4 avril 1892, M. Maillard a fait une communication à l'Institut sur la présence de petits diamants dans des échantillons de fer supposés météoriques et renfermant du nickel du voisinage d'Arizona.

[2] *C. R.* 20 janvier 1890

duit peut-être par sa cristallisation à plus haute température.

Cependant, en dehors du gisement du Cap rattaché ainsi à une formation basique, les gisements du Brésil et de l'Inde semblent correspondre à des conditions si différentes qu'il nous paraît nécessaire d'admettre dans ce cas une origine également diverse.

Au Brésil, nous avons vu que le diamant se trouve dans des itacolumites et des conglomérats au plus siluriens, et que, d'après M. Gorceix, il se présenterait dans des veinules siliceuses contenant également de la pyrite aurifère, de la martite, des oxydes de titane, de la cassitérite, etc. Dans l'Inde, d'après M. Chaper[1], il serait dans la granulite; dans tous les cas, sa formation y est antérieure à celle du conglomérat silurien où on le trouve à Panna. Nous avons affaire dans les deux cas à une cristallisation ancienne; la présence du diamant, dans la granulite d'une part, de l'autre dans du quartz aurifère à minéraux de titane et d'étain (souvent considérés eux-mêmes comme formant une auréole à la granulite) semble prouver à la fois une formation acide et l'intervention des chlorures et des fluorures sous pression invoqués pour expliquer la cristallisation de l'or, du titane, etc.

D'où l'idée de Favre et de Deville faisant dériver le diamant du chlorure de carbone; mais on peut tout aussi bien, même dans ce cas, considérer le diamant comme le dernier produit de la condensation d'un carbure d'hydrogène de plus en plus riche en carbone ayant accompagné les chlorures.

Enfin nous mentionnerons la théorie émise d'abord par Brewster, reprise par Murray et Jameson, par d'Orbigny, par Wöhler, Dana et vivement soutenue par Gœppert, d'après laquelle le diamant aurait une origine végétale prouvée, suivant Gœppert, par la présence (plus que douteuse) d'inclusions organiques. On sait qu'une certaine école, établissant à priori entre le monde organique et le monde inorganique une démarcation absolue qui n'a aucune raison d'être en chimie, prétend que tout état du carbone rencontré dans l'écorce de la terre doit nécessairement avoir passé par la vie. La théorie végétale, malgré les noms illustres qui la patronnent, nous paraît, aussi bien que les

[1] *C. R.* 14 janvier 1884.

prétendues observations de Gœppert sur ses inclusions, inspirée par une idée préconçue comparable à celle qui faisait nier autrefois la possibilité de reproduire synthétiquement un corps organique.

b. — GRAPHITE

Propriétés chimiques. — Le graphite, connu également sous les noms de *mine de plomb* et *plombagine* est, à l'état pur, composé presque exclusivement de carbone et se rapproche par là du diamant avec lequel il semblerait, comme nous l'avons vu, avoir une certaine communauté d'origine. En général, on le trouve mélangé avec des proportions variables d'azote, d'oxyde de fer, etc...

Les graphites du Canada et de Ceylan, les plus purs, arrivent à 99, 8 de carbone.

	Poids spécif.	Mat. volatil	Carbone	Cendres
Canada (Buckingham) :				
graphite écailleux	2,2689	0,178 p. 100	99,675	0,147
Ceylan (Buckingham) :				
graphite écailleux	2,2664	0,108 —	99,679	0,213
Ceylan (Buckingham) :				
graphite grenu.	2,2671	0,158 —	99,792	0,050

Le graphite de Sibérie, également très pur, contient, d'après des analyses de Dumas : de 89 à 97 de carbone et de 11 à 3 de cendres, les cendres étant formées de silice, alumine, oxyde de fer et chaux.

Comme type inférieur, nous citerons le graphite de Borrowdale, en Cumberland :

Carbone	53,4
Fer.	7,9
Chaux et alumine	36,7
Eau	2

Enfin des graphites de Bohême et Moravie, soit naturels, soit obtenus par raffinage, ont une teneur en cendres à peu près semblable :

Graphite naturel (produit vendu) : 54,4 p. 100 de cendres.
Raffinade . . 50 —

Propriétés physiques. — Nous venons de voir que le poids spé-

l'hôtel des monnaies pour opérer l'alliage de cuivre et d'or des monnaies d'or.

Comme corps onctueux, il entre dans la fabrication des *cambouis* obtenus en l'incorporant à des huiles ou des graisses.

Dans le même ordre d'idées, on l'insuffle à l'état de poudre fine sur les parois internes des *cylindres de machines soufflantes* pour adoucir le frottement du piston et rendre la garniture plus étanche. Il faut alors de très bon graphite, bien onctueux.

On garnit les *moules de fonderie* avec du graphite de dernier ordre. (Raffinades ordinaires valant environ 50 francs la tonne.)

Enfin on en utilise aussi pour la galvanoplastie, le lissage des poudres, etc...

Le tableau suivant résumait, il y a quelques années, d'après Davies, la proportion de ces divers emplois et, par suite, leur importance respective :

Creusets et objets réfractaires	35 p. 100
Polissage des objets de fonte	32 —
Usages lubréfiants	10 —
Moules de fonderie	8 —
Cambouis	6 —
Crayons	3 —
Garnitures au graphite	3 —
Poudre de graphite	2 —
Peinture	1/2 —
Electricité	1/4 —
Divers : photographes, doreurs, chapeliers	1/4 —

Pour les prix de ces diverses sortes, nous avons des renseignements (de 1879) sur les produits de Bohême :

PRIMA. — (Envoyée en Angleterre pour la fabrication des crayons)	600 à 700 fr. la tonne.
SECONDA. — (Envoyée en Angleterre pour la fabrication des crayons)	500
Raffinade extra — pour les machines soufflantes	300
Raffinade extra — pour la fabrication des creusets	250
Raffinade extra — pour les matières noircissantes	100 à 200
Raffinade ordinaire pour moules de fonderie	50

Depuis cette époque, les prix ont assez fortement baissé jusqu'en 1880. De 1880 à 1890, ils sont restés à peu près constants.

La production et la consommation des diverses régions sont, faute de documents vraiment précis, difficiles à apprécier.

L'Autriche, vers 1873, a fourni jusqu'à 30 000 tonnes ; dans la suite, la production a constamment diminué jusqu'à 10 000 tonnes en 1877 ; en 1886, elle était remontée à 17 300 tonnes auxquelles il faut ajouter 2 900 tonnes pour la Bavière ; en 1890 à 23 700 tonnes et 3 500 pour la Bavière. L'Italie en fournit 1 500 tonnes environ. Ceylan a donné 10 000 tonnes en 1880, 13 000 en 1886. Les Etats-Unis ne produisent pas assez pour leur consommation propre ; car on y fait des importations très fortes d'Allemagne et de Ceylan. La production officiellement constatée s'y est pourtant élevée en 1890 à 6 000 tonnes. Enfin la France, qui ne produit pas de graphite, en a importé en 1891, 2 151 tonnes.

Production du graphite.

(D'après la statistique internationale française.)

QUANTITÉS EN TONNES. — VALEURS EN FRANCS

	BAVIÈRE		AUTRICHE		ITALIE		ÉTATS-UNIS		CEYLAN	
	Tonnes.	Francs.	Tonnes.	Francs.	Tonnes.	Francs.	Tonnes.	Francs.	Tonnes.	Francs.
1880	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1881	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1882	»	»	»	»	4 100	45	200	912	»	»
1883	1 900	59	17 200	89	»	»	»	»	»	»
1884	»	»	»	»	4 000	45	200	912	»	»
1885	3 400	60	16 000	89	4 000	45	»	»	»	»
1886	2 900	52	17 300	75	4 000	40	190	900	13 000	420
1887	3 000	76	19 800	78	4 000	40	190	921		
1888	3 500	66	19 600	80	1 600	10	180	944		
1889	3 500	60	22 300	77	1 400	10	180	944		
1890	3 500	60	23 700	75	1 500	7	6 000	592		

GISEMENTS DU GRAPHITE

Au point de vue minéralogique, le graphite est un corps des plus abondants. Sa présence dans les micaschistes et dans les schistes anciens métamorphiques, au moins à l'état microscopique, est très fréquente[1] ; mais ses gisements industriels sont en somme assez rares. En Europe, il n'existe guère qu'un centre de

[1] En Bretagne et Vendée, il existe, d'après M. Barrois, un niveau graphiteux continu dans le précambien (x).

production important : la Bohême avec la Moravie et la Bavière, à Krummau, Schwartzbach, etc... L'Italie en produit une certaine quantité. Les mines du Cumberland (Borrowdale et Cummoch), assez prospères jusqu'au milieu de ce siècle, sont aujourd'hui presque abandonnées. En dehors de l'Europe, la plus grande partie du graphite vient de Ceylan et des Etats-Unis (Ticonderoga). Les exploitations de la Sibérie orientale (Batougol) sont interrompues.

Géologiquement, les gisements peuvent se diviser en trois catégories principales :

I. — Graphite dans la granulite. — Type : monts Batougol près Irkoutsk.

II. — Graphite en lentilles dans l'étage des gneiss et micaschistes. — Types : Bohême ; Ticonderoga dans l'Etat de New-York; Buckingham et Lochhaber au Canada.

III. — Graphite dans les terrains anciens : grès silurien dans le Cumberland ; dévonien à Ceylan ; houiller à New-Mexico, etc...

I. — GRAPHITE DANS LA GRANULITE (SIBÉRIE)[1]

Les gisements de graphite dans les roches éruptives cristallines sont intéressants parce qu'ils peuvent éclairer sur le mode de formation de ce corps et par contre-coup sur celui du diamant. Nous rappellerons, à ce propos, ce que nous avons dit (p. 4 et 17) sur les inclusions de graphite dans le diamant et sur la présence de blocs de graphite dans les mines de diamants du Cap. Au point de vue industriel, ces gîtes ont l'inconvénient de se présenter en mouches assez restreintes, en sorte que des recherches continuelles sont nécessaires. Un seul, celui de Sibérie, découvert en 1850 par le Français Alibert, a été industriellement exploité ; mais lui-même, après un moment de grand développement, est aujourd'hui délaissé à cause de l'extrême rigueur du climat[2].

Les mines de graphite de Sibérie sont situées dans les monts

[1] Collection de l'Ecole des Mines, vestibule d'entrée.

[2] *La Géographie* de Reclus, t. VI, p. 731, donne une petite carte de la région au $\frac{1}{3,500,000}$. Voir aussi le croquis, page suivante, fig. 8.

Batougol, près Irkoutsk, au voisinage du lac Baikal, c'est-à-dire presque à la frontière de la Sibérie et de la Mongolie.

La constitution géologique de la région comprend des gneiss et des micaschistes, des schistes anciens rattachés au silurien, des granulites, des diorites, etc... C'est un pays également célèbre par ses dégagements actuels de naphte et d'hydrocarbures. Le graphite semble s'y trouver dans des terrains divers. Dans les schistes anciens, il est sous forme de graphite terreux contenant jusqu'à 50 p. 100 d'argile. Il forme au contraire dans les granulites des blocs très purs atteignant 30 à 40 centimètres et contenant jusqu'à 97 p. 100 de carbone.

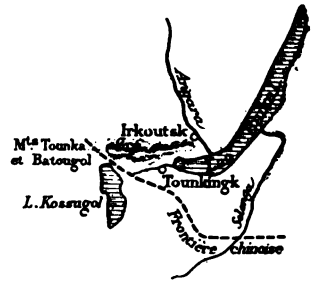


Fig. 8.
Carte des gisements de graphite de Sibérie.

Ce dernier graphite peut être coupé directement et débité en crayons. Il est suffisamment dur, très solide et d'une onctuosité parfaite. Les petits morceaux sont pulvérisés, agglutinés en briquettes et débités à la scie ; les parties trop impures servent pour les creusets.

Egalement en Sibérie, on a découvert à l'Est de Touroukhansk, entre la rivière Koureïka et la Nijnaya Toungouska de très beaux gisements de graphite inexploitable à cause du froid[1].

Indépendamment de la Sibérie, on a signalé du graphite dans un certain nombre de roches cristallines, dans le granite des monts Labour et Barbarisia dans les Pyrénées, à Pinheiro en Portugal, dans le porphyre du Hartz, dans la diorite à Barèges, etc.

II. — GISEMENTS DANS LE TERRAIN PRIMITIF

A. — GRAPHITE DE BOHÊME[2], DE MORAVIE (BASSE-AUTRICHE), BAVIÈRE, ETC.

Rappelons en quelques mots la constitution de la région.

[1] Reclus, t. VI, p. 727.

[2] Ces gisements ont été l'objet d'un mémoire important de M. Bonnefoy dans les *Annales des Mines* de 1879. — Voir Collection de l'Ecole des Mines, n° 1778.

Fig. 9. — Carte géologique de la région des mines de graphite de Bohême, d'après M. Bonnefoy. Echelle au $\frac{1}{216\,000}$.

La Bohême représente, comme on sait, avec des analogies frappantes, l'équivalent de notre plateau central [1].

Il existe là un massif de roches cristallines et de terrains primitifs et primaires dépassant un peu à l'Est la frontière politique de la Bohême pour s'étendre sur la Moravie, massif qui a formé un des piliers saillants et résistants, un des horste de la chaîne hercynienne.

Le massif à son tour est principalement constitué par des zones de gneiss et micaschistes de direction générale N. 45° E., avec un certain nombre de bandes de granite alignées parallèlement à la même direction et, au Nord-Ouest, vers Prague, un bassin silurien (celui qui a été étudié par M. Barrande) allongé dans le même sens. Au milieu des terrains anciens apparaissent, au Nord, un bassin crétacé ; à l'Ouest, deux bassins tertiaires.

C'est dans l'étage des gneiss et micaschistes que se trouve le graphite à *Krummau* et *Schwartzbach*. En ces points, cet étage, d'après la description qu'en a faite M. Bonnefoy, ressemble d'une manière frappante à des terrains qu'on peut observer en divers points du Plateau Central et que nous y avons décrits sous le nom de zone des amphibolites (ζ^{1-2}).

Cette zone, qui vient se placer entre le gneiss proprement dit et les micaschistes, est caractérisée par de très fréquentes intercallations d'amphibolites, diorites, cipolins, leptynites, etc., et nous semble porter à un haut degré la trace du métamorphisme chimique auquel M. Michel Lévy attribue la formation du terrain primitif.

C'est en relation avec ces roches diverses (où l'on pourrait reconnaître la trace d'anciens calcaires, grès et schistes modifiés) qu'on trouve dans certains pays, en Norvège par exemple, des gisements interstratifiés considérables de minerai de fer ou de sulfures divers ; c'est également à ce même niveau qu'on rencontre les lentilles de graphite les plus fréquentes, produit vraisemblable d'émanations hydrocarburées qu'on peut d'ailleurs à son gré, comme certains géologues, rattacher à la décomposition de matières organiques ou, comme c'est plutôt notre avis, faire venir du carbone interne hydrogéné par l'action de la vapeur d'eau.

[1] Voir une carte géologique d'ensemble au chapitre du plomb, t. II, et la carte détaillée, fig. 9.

Autour de *Krummau*, la direction générale des couches, marquée sur une carte géologique par les affleurements de calcaire cristallin et par les zones graphiteuses interstratifiées, est N. 46° E., avec pendage vers l'Ouest. On y trouve les roches diverses auxquelles nous faisions allusion plus haut :

Les *leptynites* (appelées granulites par les Allemands), roches analogues à nos granulites mais divisées en dalles parallèles et sans mica blanc, en outre limitées en lentilles quoique interstratifiées (gisements fréquents de grenat, disthène, tourmaline, etc...);

Les *amphibolites*, généralement bien zonées et schisteuses, en relation avec des *serpentines* dérivant, d'après l'examen microscopique de M. Michel Lévy, de roches à enstatite;

Enfin les *calcaires cristallins*, disposés en lits près de Krummau, fréquemment rubanés de gris, quartzeux et impurs au contact du gneiss, souvent intimement mélangés de serpentine en veines irrégulières ou contenant au contraire des fragments anguleux d'amphibolite empâtée. Le graphite s'y rencontre disséminé avec de la pyrite et, même là où il n'apparaît pas, une odeur fétide sous le marteau décèle une imprégnation bitumineuse.

Les gisements de graphite se présentent en amas couchés suivant la stratification. Leurs affleurements suivent une dizaine de lignes courbes parallèles à la schistosité des gneiss; mais ils n'en sont pas moins très irréguliers dans le détail, formant des poches qui passent rapidement de quelques centimètres à 20 mètres. On a remarqué, au-dessus d'eux, l'existence presque constante d'une imprégnation ferrugineuse très apparente sur 10 à 20 centimètres d'épaisseur. En outre, il arrive parfois, dans les gisements analogues et voisins de la Bavière, que le graphite prend absolument la place du mica comme peut le faire l'oligiste en Norvège et donne un graphite-gneiss. On connaît des exemples cités par Gümbel où les mêmes paillettes sont, partie en mica, partie en graphite. Dans l'hypothèse d'une origine métamorphique du gneiss, cela peut s'expliquer assez aisément : le mica, étant le produit d'une action chimique probablement fluorée, peut-être accompagnée de bases alcalines, sur l'argile des schistes, et les hydrocarbures ayant pu localement remplacer les fluorures.

On a observé à Schwartzbach la présence de plusieurs amas de

kaolin au voisinage du graphite. Le fait, ayant été retrouvé à quelque distance en Bavière, ne semble pas accidentel. Si l'on admet l'origine ancienne du kaolin, on sera porté à y voir une conséquence des venues alcalines feldspathisantes et granulitisantes qui ont eu pour effet, aux environs de Sarrau, le développement fréquent de la cordiérite.

En dehors de Krummau et de Schwartzbach, il existe, plus à l'Est en Bohême, près de *Swojanow*, un autre gîte de graphite également dans les gneiss, au voisinage de calcaires cristallins. De même, en Moravie, à *Pistau*, au Sud-Ouest d'Iglau ; dans la basse Autriche, près de *Mühldorf*, au Nord-Ouest de Spitz, sur le Danube ; enfin en Bavière, près de *Passau*.

Les gîtes de Krummau sont l'objet d'une exploitation souterraine qui occupait, en 1879, de 100 à 150 ouvriers. Le graphite y est soumis à un raffinage qui consiste en un triage, broyage et séparation par densité dans des cuves à eau.

L'exploitation de Schwarzbach, appartenant au prince de Schwarzenberg, est d'une importance à peu près égale.

Bibliographie.

1840. Glocker. — De graphite Moravico. (Vratislaviæ.)
1851. Karl Peters. — Die Kalk und Graphit Lager bei Schwarzbach in Böhmen. (*J. K. K. g. R. Wien.*)
1854. Hochstetter. — Granulit und Serpentin im südlichen Böhmen. (*J. K. K. g. R. Wien.*)
1863. Lipold. — Die Graphitlager nächst Swojanow in Böhmen. (*J. K. K. g. R. Wien.*)
1863. Gumbel. — Geognostiche Beschreibung des Oestbayerisches Grenzgebirges.)
1866. — Exploitation du graphite en Autriche. (*Cuyper*, t. XX, p. 197.)
1872. Dionys Stur. — Graphite de Moravie. (*Verh. der K. K. geol. R.*, 1872.)
1875. Vergani. — Graphite de la *basse Autriche*.
1879. Bonnefoy. — Gites de graphite de la Bohême méridionale. (*Ann. d. Min.*, t. XV, p. 157.)

B. — GRAPHITE DES ÉTATS-UNIS (TICONDEROGA)

Le graphite se rencontre en plusieurs points des Etats-Unis, particulièrement dans l'Etat de New-York, à *Ticonderoga*.

Il y a là un gisement assez activement exploité depuis quelques années pour la fabrication des creusets par une compagnie anglaise (la compagnie Dixon), qui auparavant se fournissait à Ceylan. Le graphite est d'ailleurs connu en ce point depuis 1883.

On le rencontre sous forme de bancs interstratifiés au milieu du gneiss dans une montagne nommée Blacklead Mountain (montagne de plombagine). Le plongement est d'environ 45°. Les veines ont de 2 à 20 centimètres de large et forment en certains points avec le gneiss des alternances répétées ; elles se présentent avec des élargissements en poche et des rétrécissements fréquents. L'une d'elles a pu être suivie jusqu'à 100 mètres de profondeur.

Le minerai, généralement écailleux, est d'assez bonne qualité quand on l'a séparé de sa gangue ; on le prépare, comme celui de Bohême, par pulvérisation au pilon et lavage au bac à piston.

En 1886 et 1887, la production a été d'environ 160 tonnes.

Le graphite se rencontre dans d'autres contrées d'Amérique. On en cite dans les montagnes des Apalaches, entre le Canada et l'Alabama ; dans la région d'Albany ; sur le territoire de Wyoming, où il y aurait des veines très pures atteignant $1^{m},50$ d'épaisseur ; à Pilkin, comté de Gunnison, où il est assez impur ; dans les montagnes noires du Dakota, dans la Sonora ; enfin sur les bords du détroit de Behring où les naturels s'en fabriquent, dit-on, des ornements. Ces divers gisements sur lesquels nous manquons de détails géologiques paraissent être des poches dans le gneiss.

A *Rhode Island*, dans la Nouvelle-Angleterre, on doit mentionner en outre des couches de houille ayant pris localement par métamorphisme une texture graphitique en perdant leur matière volatile. Ce graphite spécial est exploité à Cumberland Hill (600 tonnes) et Cranston (3 000 tonnes d'un corps intermédiaire entre l'anthracite et le graphite) pour des usages métallurgiques (procédé Eames).

Bibliographie.

1886 et 1887. Mineral Ressources of the United States. (1886, p. 686, et 1887, p. 351 et 672.)

1888. DAVIES, p. 199.

C. — GRAPHITE DU CANADA (BUCKINGHAM ET LOCHHABER)

Les principaux points où l'on connaît du graphite au Canada sont *Buckingham* et *Lochhaber*, aux environs de la ville de Greenwall, comté de Buckingham.

D'après un rapport de M. Obalski, ingénieur des mines de la province de Québec, les mines y seraient abandonnées depuis une dizaine d'années.

Le graphite du Canada est, comme celui de Bohême, associé à des calcaires cristallins formant des lentilles au milieu des gneiss. Au voisinage des calcaires, le gneiss est imprégné de graphite, disposé tantôt en paillettes aplaties comme des micas, tantôt en amas plus ou moins grands.

Quelques minéraux ont été signalés comme accompagnant le graphite : la calcite, le quartz, le pyroxène, le mica, l'apatite, le sphène. Les cristaux de calcite, quand on les fend, montrent des écailles de graphite suivant les clivages.

On a attaché une importance particulière au sphène (silicotitanate de chaux), qui peut être considéré comme résultant de l'action de l'acide titanique sur le calcaire. Cette liaison de l'acide titanique avec le graphite se présente en effet comme un phénomène assez fréquent. Certains schistes métamorphiques, certaines ardoises du cambrien ou du silurien, où le microscope montre des chapelets de graphite, contiennent en même temps de très nombreuses aiguilles de rutile (acide titanique). D'autre part, nous avons vu que le diamant (à beaucoup de points de vue l'homologue du graphite) est habituellement accompagné de rutile, anatase, fer titané, etc. L'apatite signalée avec le graphite du Canada, la cordiérite avec celui de Bohême, pourraient peut-être, aussi bien que cet acide titanique, être rattachées à un même ensemble d'émanations minéralisatrices analogues à celles qui ont produit l'étain et, comme elles, en relation avec la granulite.

Bibliographie.

1877. Vennor. — On the iron ores, apatite and *plumbago* deposits of Ottawa county. (*Geol. survey of Canada*, p. 244.)

* 1877. Obalski. — Rapport sur les mines du Canada.

* 1888. Davies, p. 201.

Enfin, parmi les très nombreux points où l'on a signalé du graphite dans les gneiss, nous nous contenterons de signaler encore : le Val d'Andlau dans les Vosges (gisement étudié par Elie de Beaumont) [1], les environs d'Oran en Algérie, Viseu en Portugal, la Finlande, etc...

III. — GISEMENTS DANS LES TERRAINS ANCIENS

A. — GITES DU CUMBERLAND (BORROWDALE)[2]

La mine de graphite la plus importance d'Angleterre a été celle de *Borrowdale* en Cumberland, très anciennement exploitée, et où l'extraction a été très active jusqu'en 1860. L'introduction en Angleterre du minerai de Ceylan a ruiné cette mine.

Là le gisement était dans les terrains primaires composés de grès et schistes, avec intercalations de roches qualifiées de trapps feldspathiques : grès et schistes dans lesquels le graphite formait des veines.

Dans d'autres mines du même pays, on exploitait des gîtes du type précédent, en lentilles dans le gneiss : ainsi à *Cummoch*, où certaines veines avaient 1 mètre d'épaisseur.

B. — GRAPHITE DE CEYLAN

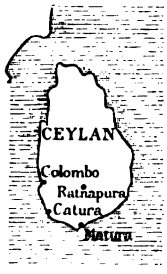


Fig. 10.
Carte de l'île de Ceylan.

Le graphite de Ceylan a eu une très grande importance, surtout avant la découverte des graphites américains, qui l'ont un peu supplanté sur les marchés d'Angleterre et d'Amérique.

On a fort peu de renseignements géologiques sur ces gisements dont quelques-uns, d'après un auteur anglais, se trouveraient dans le dévonien.

Les centres d'extraction sont situés dans la partie Sud de l'île, autour de la ville de Colombo, où l'on concentre le minerai pour le traiter mécaniquement. On cite *Ratnapura*, *Catura*, *Matura*, etc. De 4 à 5,000

[1] *Explic. carte géol.*, p. 310 et 314.
[2] Voir Davies, p. 194.

hommes et 500 chars traînés chacun par une paire de bœufs sont employés à ces mines.

L'extraction a été :

de 1846 à 1851	670	tonnes
1851 à 1856	697	—
1856 à 1861	1 876	—
1861 à 1866	2 864	—
1866 à 1871	62 35	—
1871 à 1876	68 73	—
1876 à 1879	57 33	—

Jusqu'en 1886 (derniers renseignements précis), l'industrie allait croissant. Dans les années 1879 et 1880, on a atteint 10,000 tonnes par an ; en 1886, 13,000 tonnes. Le nombre des puits et mines était de 400.

Quant au prix, il a beaucoup varié.

En 1868 et 1869, on payait à Ceylan de 300 à 350 francs la tonne. En 1870, il y a eu une baisse considérable. En 1880, on était remonté à 375 francs ; en 1886, à 420 francs.

Bibliographie.

1848. Dr Gygax. — Geol. survey, appendice n° 2.
1888. Davies, p. 197.

Comme autres gisements dans les terrains anciens (sans intérêt industriel), nous nous bornerons à citer *Nijni Tongowsk*, près de Krasnoïarsk, où a été trouvé un bloc de fer natif devenu célèbre par les discussions auxquelles il a donné lieu et où l'on exploite du graphite dans du silurien inférieur fossilifère ; *Kergonano* près Vannes, où l'on a trouvé, dans des schistes anciens, des mouches de graphite à 40 p. 100 de cendres ; *New-Mexico*, où il en existe dans le houiller, etc.

Ces graphites des terrains anciens peuvent être rapprochés des imprégnations bitumineuses dans des schistes que nous étudierons plus loin, et expliqués par des émanations d'hydrocarbures (quelle que soit leur origine), au milieu de dépôts vaseux transformés ultérieurement par métamorphisme.

c. — JAIS[1]

Le *jais* ou *jayet* n'est autre chose qu'un lignite d'un noir luisant employé dans la bijouterie. Son nom vient du fleuve Gages, en Lycie, d'où on le tirait dès le temps de Pline. Sa valeur tient à ce qu'il est plus noir que le lignite ordinaire et peut recevoir un beau poli.

L'analyse d'un échantillon a donné :

Carbone	79,97
Hydrogène	4,30
Azote	0,47
Oxygène	13,22
Soufre	0,91
Cendres	1,33
	100,00

Le jais brûle au feu comme un charbon.

Pour l'employer, on commence par l'user jusqu'à la forme voulue sur des meules en grès, puis on le polit comme une pierre précieuse.

Il subit la concurrence très vive du jais artificiel qui n'est autre chose que du verre noir. Mais il a sur lui l'avantage d'être infiniment plus léger.

Le prix des belles qualités varie de 30 à 40 francs le kilogramme.

Les gisements sont : 1° l'Angleterre à Whitby, dans le Yorkshire, où l'on en a produit en 1880 : 3 400 kilogrammes[2] ; 2° l'Espagne, dans les Asturies, la Galice et l'Aragon ; 3° la France dans l'Aude, à Sainte-Colombe, Peyraz, Labastide, etc. ; 4° la Prusse dans un gîte où se trouve aussi l'ambre jaune ; 5° la Saxe, près de Wittemberg ; 6° la Russie, etc..

Dans le *Yorkshire*, l'exploitation est assez active sur la côte Est et à Whitby. On exploite des poches de jais allant de quelques grammes à 100 kilogrammes qu'on trouve dans les parties les plus dures de schistes alumineux du lias.

[1] Collection de l'Ecole des Mines, nos 1819 et 1564.

[2] Davies, p. 202.

Les gisements *espagnols* fournissent la plus grande partie de leur minerai à des usines françaises qui s'étaient montées aux environs de Sainte-Colombe (Aude) pour exploiter les gîtes du voisinage et qui les ont eu rapidement épuisés.

Bibliographie.

1863. — Lignite et jayet du canton de Berne. (*Bull. Ann. des Min.*, 6e série t. V, p. 496.)
1888. DAVIES, p. 202.

d. — HYDROCARBURES

Les hydrocarbures se présentent dans la nature sous les aspects les plus variés. On peut distinguer leurs gisements en trois grandes classes, suivant qu'ils sont à l'état libre, simplement mélangés à une roche d'où un simple lavage à l'eau chaude permet de les extraire, ou chimiquement incorporés dans leur gangue.

Libres, ils peuvent être :

Soit gazeux, comme c'est le cas pour certains gaz naturels d'Amérique[1] ;

Soit liquides. On les appelle alors huiles de naphte ou pétroles; (types : Amérique, Caucase, Roumanie, Galicie, etc.);

Soit visqueux. Ce sont dans ce dernier cas de véritables bitumes, comme il y en a dans certaines régions pétrolifères d'Amérique;

Soit solides : ambre, ozokérite, bitume de la Trinidad.

Mélangés, ils peuvent avoir :

Soit une gangue terreuse ; types : bitumes de la Trinidad, de Cuba, du Mexique;

Soit une gangue sableuse; types français : molasses de Volant-Seyssel (Ain), sables du Bugey.

[1] Nous verrons que les gaz hydrocarburés paraissent être le produit initial dont l'oxydation plus ou moins complète a produit d'abord les pétroles puis les bitumes ; c'est pourquoi, dans la description, nous adoptons l'ordre : gaz, liquides, solides.

Incorporés, ils peuvent imprégner :

Soit des schistes : ils forment alors des schistes bitumineux : types français : Autun, Buxière-la-Grue (Allier), Dauphiné ;

Soit des calcaires : ils constituent alors des asphaltes ; types français : Seyssel, Val de Travers, Clermont, Chavaroche, Lobsanne.

Si on essayait de classer tous ces corps multiples d'après leurs usages, on aurait :

1° Les huiles minérales, soit naturelles (pétroles), soit artificielles (produits de la distillation des schistes bitumineux) ;

2° Les bitumes ;

3° Les asphaltes.

Revenant à la première classification indiquée ci-dessus, nous commencerons par décrire successivement ces diverses catégories de gîtes d'après leur allure géologique. Nous essayerons ensuite d'en déduire quelques notions sur leur mode de formation et leur origine.

I. — GAZ NATURELS COMBUSTIBLES

Historique. — Les dégagements de carbures d'hydrogène combustibles sont, on le sait, fréquents dans les marais. Il suffit d'agiter avec un bâton la vase où se décomposent des matières organiques pour voir monter à la surface des bulles gazeuses formées principalement de protocarbure d'hydrogène avec de l'oxygène, de l'acide carbonique et de l'azote. L'inflammation spontanée de ce gaz à l'air produit le phénomène connu sous le nom de feu follet.

Dans les mines de houille, le même hydrocarbure constitue le grisou.

Enfin, dans certaines localités spéciales, il se dégage en grande abondance à travers une boue imprégnée de sel marin en pro-

duisant des volcans de boue ou salses (Apennins, Caucase, Perse, Mexique, etc. [1]).

Ces faits étaient connus depuis fort longtemps et l'idée toute naturelle de tirer parti de ces gaz en les brûlant est également ancienne. C'est ainsi que les Chinois, dit-on, utilisent, depuis des siècles, des gaz naturels dans la province du Se-tchoaw. Nous aurons l'occasion d'en dire un mot au chapitre du sel. Mais la véritable application industrielle des gaz hydrocarburés date de 1821 et a été faite en Amérique.

C'est en 1821 que la ville de Fredonia (N Y) commença à s'éclairer au gaz naturel; en 1830, on employa ce gaz dans un phare à Barcelona sur le lac Erié ; en 1841, on en chauffa des chaudières dans la vallée de Kanawah (West-Virginia); en 1874, on s'en servit à Leechburg dans une usine à fer; enfin, en 1883, on établit une canalisation de Murrayville à Pittsburg sur 25 kilomètres et, dans la ville de Pittsburg, les gaz furent partout substitués aux combustibles. Ce fut alors une ère de prospérité remarquable pour cette industrie : on multiplia les sondages de tous côtés; en 1887, il y avait, dans la Pensylvanie occidentale, 66 compagnies de gaz naturel représentant un capital de 110 millions et fournissant une quantité de gaz qui remplaçait 25 000 tonnes de charbon par jour. Dans le seul district de Pittsburg, on consommait, par vingt-quatre heures, 30 millions de mètres cubes de gaz remplaçant 20 000 tonnes de charbon, économisant 5 000 ouvriers et fournissant aux besoins de 30 000 compagnies ou particuliers. Il y avait alors 200 puits exploités.

Mais cette extraordinaire fortune n'aura pas été bien longue. Les réservoirs intérieurs d'hydrocarbures gazeux ou liquides sont, tout aussi bien que des amas de houille, essentiellement limités. Dès 1888, la production commença à baisser fortement, le mouvement s'accentua en 1889 et, depuis 1890, la plupart des puits de la région de Pittsburg étant taris, il a fallu, dans les usines,

[1] On a quelquefois voulu faire intervenir dans la production de ces volcans de boue des forces éruptives; en réalité, il n'y a là, comme l'a indiqué M. Coquand (*B. S. G.*, 3e série, t. VI, p. 91), qu'un dégagement de gaz hydrocarburé emmagasiné dans une couche pétrolifère et s'échappant par bulles à travers les fissures du sol en entraînan un peu d'argile.

reprendre l'usage du combustible abandonné. Néanmoins il reste encore, tant aux Etats-Unis qu'au Canada, des applications importantes de ces gaz qui méritent une description.

Propriétés chimiques et physiques. — Nous donnons ci-dessous quelques analyses de gaz :

Le premier tableau *a* correspond à des gaz de Pensylvanie.

Sous le titre paraffine sont compris les hydrocarbures de la série C^nH^{2n+2}.

a. — GAZ DE PENSYLVANIE

	1	2	3	4	5
Az	4,51	2,02	9,91	12,32	15,30
CO^2	0,05	0,28	Traces	0,41	0,44
H	0,02	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .
AzH^3O	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	Traces
O	Traces	Traces	Traces	Traces	Traces
HS	. . . .	. . . .	Traces	. . . .	. . . .
Paraffine	95,42	97,7	90,09	87,27	84,26
	100				

Le second tableau *b* correspond à des gaz de Pittsburg et de Findlay.

b. — GAZ DE PITTSBURG ET DE FINDLAY

	1	2	3	4	5
CO^2	0,06	0,04	0,03	0,6	0,26
CO	0,08	0,04	0,06	0,6	0,50
O	0,08	0,08	1,2	0,8	0,34
Hydr. proto-carboné	65,25	49,58	75,16	67,0	92,61
Hydr. bicarboné	0,08	0,06	0,06	1,0	0,30
Hydrure d'éthyle	5,50	12,3	4,8	5,0	. . . .
H	26,16	35,92	14,45	22	2,18
HS	0	0	0	0	0,20
Az	. . .	. . .	2,89	3	3,61
Total	99,91	100	100	100	100
Pouvoir calorifique	. . . . .			789,691	878,082
Densité	0,520			. . . .	0,57

Les analyses 1, 2, 3, sont celles de gaz des environs de Pittsburg (les deux premières du même puits); 4 donne la composition moyenne des gaz de Pittsburg et 5 la composition moyenne des gaz du district de Findlay.

On a constaté par expérience que, pour la production de la vapeur, mille pieds cubes de gaz remplaçaient de 40 à 60 kilogrammes de différents charbons.

Usages et utilisations. — On emploie le gaz en Pensylvanie :

1° *Pour l'éclairage et le chauffage domestiques.* — Il a un pouvoir éclairant de 8 à 10 bougies, moindre que celui du gaz d'éclairage fabriqué qui est de 16 bougies. On l'utilise dans toutes les cheminées, foyers, poêles, calorifères. Le gaz arrive par des becs, quelquefois des brûleurs Bunsen ;

2° *Pour produire de la vapeur.* — On fait seulement arriver le gaz sous les chaudières en fermant les cendriers ;

3° *Dans les usines à fer.* — Pour les fours à puddler, à réchauffer, etc.;

4° *Dans les verreries.* — Avec grand succès ;

5° *Divers.* — On s'en sert pour une foule d'autres usages : la cuisson des poteries, des briques, de la chaux. On l'emploie, au lieu de vapeur, dans les machines placées à l'air libre à cause de sa pression, etc.

Le gaz est facile à manier et sans danger ; chaque foyer est muni d'une clé pour régler le feu et arrêter le gaz. La seule précaution à prendre est, quand on allume, de ne tourner la clé que quand on a placé en face du tuyau un objet enflammé.

Prix du gaz. — On ne se sert pas de compteurs; le gaz est distribué aux maisons et aux usines en réduisant simplement les pressions suivant l'importance de la consommation. A Pittsburg, où existent de puissantes compagnies, les prix sont basés sur la dépense antérieure de charbon ou à raison d'un prix fixe par quantité de produit fabriqué avec le gaz, tandis qu'à Findlay, par exemple, où on cherche à attirer des industries nouvelles, le gaz est fourni par abonnement à tant par mois ou par an, en s'inquiétant seulement de l'importance de l'usine.

Gisements. — Les grands gisements de gaz naturels industriellement exploités sont concentrés dans les deux États voisins de l'Ohio et de la Pensylvanie, au Sud du lac Erié, en particulier autour des deux villes de Findlay (Ohio) et de Pittsburg (Pensylvanie). — En outre, de nombreux sondages ont retrouvé les mêmes gaz plus au Nord, entre Québec et Montréal, dans la vallée du Saint-Laurent.

D'une façon générale, on peut dire que ces gaz sont en relation étroite avec les pétroles exploités dans les mêmes parages — et il n'y a guère en effet de région pétrolifère, aussi bien le Caucase ou la Galicie (Boryslaw) que l'Amérique, où l'on ne rencontre des gaz avec les huiles naturelles; — mais, suivant les points, la proportion en est très variable. Le plus souvent, les puits riches ne se trouvent que sur les lignes anticlinales des plissements du terrain : ce qui peut s'expliquer aisément par la concentration, suivant ces lignes, de tous les gaz enfermés dans les strates et ayant constamment une tendance à y gagner les parties les plus élevées. En outre, on a remarqué que les gaz se trouvaient à un niveau inférieur aux huiles, celles-ci augmentant elles-mêmes de densité à mesure qu'on se rapproche de la surface, comme si elles avaient subi une altération de plus en plus forte au voisinage de l'atmosphère.

Au point de vue géologique, on rencontre les gaz, aussi bien que les pétroles, dans des terrains d'un âge géologique très divers : schistes du carbonifère inférieur en Pensylvanie, calcaire silurien de Trenton (c'est-à-dire sommet de l'armoricain), plus à l'Ouest, dans l'Ohio, vers Findlay; silurien inférieur (groupe de Québec), au Canada [1].

[1] Rappelons ici la coupe du silurien supérieur dans l'Amérique du Nord : région où cet étage est remarquablement développé, avec des assises très concordantes passant graduellement du cambrien au silurien.

Étage bohémien (E, F, G, H.)	Sous-étage inférieur d'Hedelberg, 200 mètres. Calcaires (série de Ludlow).
	Sous-étage de Salina, 200 mètres. Groupe salifère d'Onondaga.
	Sous-étage du Niagara 200 à 1200 mètres : Schistes et calcaires du Niagara. Grès de Médina et Clinton (Llandovery).
Étage armoricain (D)	Sous-étage de Trenton, 200 à 600 mètres; assimilé aux assises de Llandeilo et de Caradoc.
	Sous-étage canadien. Groupe de Québec (grès à bilobites).

la section de deux puits productifs à Findlay et à Bowling à 24 milles au Nord de Findlay.

	FINDLAY		BOWLING GREEN	
	ÉPAISSEUR	DISTANCE DE LA SURFACE	ÉPAISSEUR	DISTANCE DE LA SURFACE
	mètres	mètres	mètres	mètres
superficiel. .	= 2,40	»	manque	»
de Niagara. .	= 48,00	2,40	= 58,05	»
leue.	= 0,60	50,40	manque	58,05
bleu.	= 1,50	51,00	—	—
de Niagara. . de Clinton. .	= 32,40	52,50	= 33,00	58,05
rouge de Mé-	= 14,10	84,90	= 24,00	91,05
. . . . .	. . . . .	. . . . .	Gaz abondant	
bleus. . . . . s d'Hudson-	= 15,70	99,00	= 15,00	115,05
. . . . .				
. . . . .	»	172,00	manque	»
. . . . .	»	206,00	—	»
. . . . .	»	213,30	—	»
. . . . .	»	239,30	—	»
bruns d'Utica.	= 100,00	264,00	= 82,05	271,06
de Trenton .	»	364,00	»	»
prégnés de gaz.	»	»	»	»
k (Main Gaz) .	»	365,30	= 61,02	365,00
. . . . .	»	373,30	»	»
e	»	539,30	»	»

anada, les gaz combustibles se trouvent surtout aux s de Louiseville et de Trois-Rivières, dans la vallée du aurent.

vallée, entre Québec et Montréal, est formée de calcaires ton surmontés de schistes d'Hudson River et de grès de ı ; le tout recouvert d'une couche alluviale moyenne de 20 tres.

premiers travaux datent de 1880, aux Trois-Rivières. En t fondée la première compagnie d'exploitation. Un sondage a coupe suivante :

mètres. Glaise et sable avec quelques veines de gaz.
mètres. Glaise et grès un peu calcaire.
3 mètres. Schistes rouges, bruns tendres, avec dégagements de gaz.

103m, 125m, 193m, 215 mètres. Niveaux de gaz, celui de 193 étant le plus important.
215 à 275 mètres. Calcaire impur, veine de gaz à 275 mètres.
275 à 370 mètres. Schiste noir compact.

Un autre sondage de 500 mètres, fait en 1886 à Maisonneuve, près de Montréal, et trois autres de 200 mètres à Louiseville ont également donné beaucoup de gaz.

Ces gaz emmagasinés dans divers étages géologiques, en Pensylvanie et au Canada, s'y trouvent sous de très fortes pressions ayant atteint jusqu'à 66 atmosphères. Dans le district de Pittsburg, la pression moyenne est de 30 atmosphères. C'est ce qui a permis d'utiliser les gaz à grande distance en les transportant par tuyaux, malgré une perte de charge qui peut s'évaluer à $0^{at},280$ au kilomètre.

Exploitation du gaz en Pensylvanie. — Les puits à gaz sont de simples sondages de petit diamètre; ils sont d'ailleurs analogues à ceux dont nous dirons un mot pour l'huile, et sont partout pratiqués à la corde; la corde, généralement en chanvre, a 4 centimètres de diamètre. Dans les districts déjà connus, on sait à quelle profondeur on trouvera les niveaux de gaz et d'eau; pour sortir le gaz parfaitement sec, on place un tubage spécial (*casing*), destiné à retenir l'eau. Le casing est un tube qu'on descend jusqu'à la section de moindre diamètre pratiquée un peu plus bas que la nappe aquifère à contenir, et qui s'appuie ainsi sur le bord de la roche. Par son poids, il exerce sur celle-ci une pression suffisante pour empêcher l'eau de filtrer. D'autres fois, on emploie une garniture spéciale en caoutchouc.

Dans le district de Pittsburg, on fore les puits à une profondeur de 430 mètres environ, avec le casing vers 130 mètres. On a été jusqu'à 1 400 mètres.

Ordinairement, on fait un trou de $0^m,20$ de diamètre jusqu'à la roche solide. On place un tube pour retenir les terres et on poursuit le sondage au même diamètre jusqu'à ce qu'on ait dépassé le niveau de l'eau. Alors on descend un casing de $0^m,15$ et on continue jusqu'à la profondeur voulue sur un diamètre de $0^m,14$.

Le prix demandé à l'entreprise dans le district de Pittsburg pour un pareil sondage représente 33 fr. 65 le mètre. Quand on a atteint le gaz, on met le tuyau de sortie en communication avec les lignes de distribution, et, si l'on veut mettre le puits en réserve, on ferme le tuyau par une double valve ; il faut alors assujettir fortement le tuyau par un massif de maçonnerie ou une charpente pour que la pression ne le projette pas au dehors.

Transport. — Le gaz est rarement consommé dans le voisinage des puits ; à Toledo, sur le lac Erié, on utilise le gaz de Findlay distant de 64 kilomètres. Les régions qui fournissent le gaz à Pittsburg sont Murrayville (à 30 kilomètres) et Tarentum, à 35 kilomètres.

Les tuyaux servant au transport sont en fer, éprouvés à une pression de 80 à 100 atmosphères ; ils sont vissés entre eux et réunis par un joint spécial ; leur diamètre est de $0^m,08$ à $0^m,35$ pour les hautes pressions et va jusqu'à $0^m,75$ pour les basses pressions. A Findlay, les lignes de distribution ont $0^m,10$. On emploie dans les villes des régulateurs de pression permettant de distribuer le gaz à des pressions différentes ; le gaz employé pour le chauffage d'une maison, par exemple, a besoin d'une moindre pression que celui d'une usine à fer consommant un million de pieds cubes par jour.

Le gaz, à la sortie du puits, traverse des réservoirs en fer où il abandonne les matières entraînées. Il est distribué sans passer par des compteurs ; on régularise seulement son entrée au moyen de clefs à valves.

Redevances. — Pour les puits à gaz, on n'apprécie pas la quantité sortie ; le propriétaire vend le terrain ou le droit pour le gaz, ou permet d'y forer des puits moyennant une redevance fixe par année. Dans la région de Pittsburg, on paie 1 000 à 1 300 francs par an et par puits, et quelquefois davantage. A Findlay, on ne paie que 250 à 500 francs dans les mêmes conditions. Le gouvernement ne perçoit rien et les municipalités donnent l'autorisation de poser les tuyaux.

Bibliographie.

1876. Smith. — Puits de gaz en Pensylvanie. (*Ann. Ch. et Phys.* (5), t. VIII, p. 566. B. S. C. P., 1877, n° 3; *W. B.*, 1874, p. 1178.)

1885. White. — The geology of *natural gas*. (*Science*, t. V, p. 521. Cambridge (Mass), 1885.)

1886. Edward Orton. — The recently discoreved Sources of natural gas and petroleum in North-Western Ohio. (*American association for the advancement of Sciencs*, 34e meeting, p. 202. New-York, 1886.)

Ashburner. — The geology of natural gas in Pensylvania and New-York (in-8° de 11 p.).

* 1885-86-87. Obalski. — Rapports sur les gaz combustibles du Canada. (Contient une bibliographie antérieure.)

1886. Bannister. — Something about natural gas. (New-York.)

* 1886. Jos Weeks. — Natural gaz. (*Mineral ressources of the Un.-States.*)

1886. Chance. — The anticlinal theory of natural gaz. (*T. Am. I. M. E.*, t. XV, p. 3.)

Avril 1886 et 30 décembre 1887. — American manufacturer and iron world. Pittsburg. (*Natural gaz*, suppl. nos 1 et 2.)

28 décembre 1889. — Sur l'épuisement des gaz à Pittsburg. (*Nature.*)

II. — PÉTROLES

Généralités. Propriétés chimiques. — Les hydrocarbures liquides sont qualifiés du nom général de pétroles. Parmi les travaux importants auxquels leur constitution chimique a donné lieu, on peut citer tout d'abord celui de MM. Pelouze et Cahours en 1863 sur des pétroles venant d'Amérique. Ces chimistes reconnurent alors que ceux-ci se composaient presque exclusivement d'hydrocarbures saturés dont ils isolèrent les termes compris entre C^2H^4 et $C^{33}H^{34}$(1). Au-dessus du point d'ébullition de ce dernier hydrocarbure, vers 280°, on obtenait de la paraffine fusible de 45 à 65°.

Les mêmes carbures ont été reconnus depuis dans tous les autres pétroles; mais ceux de la Galicie et de la Birmanie renferment en outre une proportion notable de carbures de la série de la benzine et ceux du Caucase, surtout près de Bakou, se composent essentiellement de carbures $C^n H^{2n}$, différents de la série

1 Formules en équivalents.

éthylénique par leur résistance aux réactifs chimiques, auxquels on a donné les noms de paraffènes et de naphtènes.

La teneur en paraffine varie beaucoup dans les pétroles ; elle est très faible au Caucase, très forte en Pensylvanie : ce qui donne au Caucase des facilités pour transporter le pétrole par tuyaux, sans craindre sa congélation.

Le tableau suivant, résume les compositions élémentaires de plusieurs pétroles :

DÉSIGNATION DES PÉTROLES	C	H	O	AUTEURS DES ANALYSES [1]	DENSITÉS	PERTES à 200°
Huile légère de Pensylvanie . .	82	14,8	3,2	Sainte-Claire-Deville.	0,806	31,0 %
— lourde de Pensylvanie . .	84,9	13,7	1,4	—	0,886	27,7 %
— lourde de l'Ohio.	84,2	13,1	2,7	—	»	»
— légère de Virginie	84,3	14,1	1,6	—	0,841	31,0 %
— lourde de Virginie	85,3	13,9	0,8	—	0,873	12,0 %
Pétrole de Gabian	86,1	12,7	1,2	Foucou.	0,894	4,1 %
— du Hanovre	80,4	12,7	6,9	—	0,892	11,0 %
— de Galicie	82,2	12,1	5,7	Am. Boué.	0,870	21,7 %
Pétroles de Parme.	84,0	13,4	1,8	Devincenzo.	0,786	69,3 %
— de Bechelbronn	85,7	12,0	2,3	Le Bel.	0,892	15,2 %
— du Caucase	86,1	13,6	0,1	Likhatchoff.	0,884	16,1 %
— de Java.	86,2	12,2	1,6	Sainte-Claire-Deville.	»	»
— de Birmanie.	83,8	12,7	3,5	Fabre.	»	»

Dans ces analyses l'oxygène paraît avoir été toujours dosé par différence et doit probablement comprendre une certaine proportion de soufre.

Au point de vue des densités, on peut remarquer : d'une part qu'en un même point l'huile de surface (surface oil) est toujours plus lourde que l'huile puisée en profondeur (elle-même d'autant plus légère qu'on s'enfonce davantage), et d'autre part qu'à point d'ébullition égal, les pétroles du Caucase (tertiaires comme nous le verrons) sont sensiblement plus lourds que ceux de Pensylvanie (rattachés aux terrains anciens).

Propriétés physiques et usages. — Les pétroles sont employés : 1° pour l'éclairage ; 2° pour le chauffage. A ce double point de vue, quelques-unes de leurs propriétés sont intéressantes à connaître

[1] Ce tableau est emprunté, ainsi que quelques-uns des détails qui suivent, à un intéressant mémoire de M. Ph. Narcy sur les bitumes. (*Bull. des Elèves de l'Ecole des Mines*, 1889.)

Quand on chauffe le pétrole, il dégage des vapeurs combustibles qui, mélangées à l'air, font explosion. Le degré de température auquel les vapeurs prennent feu est le *point d'inflammabilité*.

On désigne sous le nom d'*ignibilité* du pétrole sa propriété de continuer à brûler une fois allumé et lorsqu'on le chauffe à une température déterminée ou point d'ignition. En France, d'après le décret relatif à la réglementation des fabriques et des dépôts d'huiles minérales (18 août 1886), les huiles destinées à l'éclairage ne doivent émettre des vapeurs susceptibles de s'enflammer au contact d'une allumette en ignition qu'à une température égale ou supérieure à 35°.

La *capillarité*, propriété importante quand il s'agit de l'éclairage dans les lampes, varie beaucoup avec les différents pétroles. Elle est moins grande dans les pétroles riches en huiles lourdes.

La *densité* des pétroles diminue rapidement sous l'influence de la température : ce qui peut avoir des conséquences graves pour un réservoir rempli à basse température et ultérieurement soumis à la chaleur solaire.

Enfin, comme combustible, le pétrole, d'après Sainte-Claire Deville, a un *pouvoir calorifique* supérieur à celui des charbons à poids égal.

Traitement. — Avant d'être livrés au commerce, les pétroles bruts ont à subir de nombreux *traitements* dont les produits, plus ou moins raffinés, portent des noms divers (leuciline...).

Dans une première distillation, on fractionne ordinairement le naphte brut distillant jusqu'à 130 ou 140°, l'huile à brûler passant jusqu'à 270 ou 300°, et un résidu qui est le goudron d'huile brute.

Puis ces diverses substances sont soumises à l'action des acides et des lessives alcalines.

Le naphte brut fournit à son tour l'*éther de pétrole* ou cymogène passant entre 46 et 70° (poids spécifique, 0,64 à 0,66); la *gazoline* (néoline, rhigolène, canadol) de 65 à 90° (poids spécifique, 0,67); la *benzine de pétrole* ou benzoline de 90 à 100° (poids spécifique, 0,69 à 0,71) et *l'huile à dégraisser*, résidu de la distillation, à partir de 120°.

L'huile à brûler forme le *pétrole purifié*, l'*huile pétrosolaire*, l'*oléophine*, le *kérosène*, l'*huile astrale*, le *standardoil*.

Le goudron d'huile brute fournit les huiles lourdes dont on extrait, en isolant la paraffine, des huiles lubréfiantes (*vulcanoil*, *staroil*, *éclipseoil*, *huiles à broches*, *huile de Mohring*, *valvoline*, *oléonaphte*, *etc...*).

L'huile du Canada donne	12,5 p. 100 de naphte brut à 62° B. 55,8 p. 100 d'huile à brûler à 42° B. 43,7 — d'huiles de graissage. 3 — de paraffine. 5,2 — de coke. 1,8 — de perte.
L'huile de Pensylvanie donne . .	5 à 20 p. 100 de naphte brut entre 66 et 87° B. 55 à 70 p. 100 d'huile à brûler entre 38 et 48°. 5 p. 100 de perte par volatilisation. 3 — de résidu.
L'huile de la Galicie orientale donne	50 p. 100 huile à brûler à 32° B. 20 — huiles très volatiles. 8 — de paraffine. 8 — de goudron. 10 — de résidu. 3 — de perte.

Enfin l'huile de Bakou donne au raffinage 35 à 40 p. 100 d'huile à brûler à 42° B. (poids spécifique, 0,820) et des résidus employés au chauffage sous le nom d'*astakis*. Nous ferons remarquer la grande différence entre la proportion d'huile lampante obtenue à Bakou (35 à 40 p. 100) et en Pensylvanie (70 à 80 p. 100).

Au point de vue des usages industriels, il y aurait lieu de rapprocher des pétroles les huiles de schistes ou essences minérales, obtenues par la distillation des schistes bitumineux, et dont nous parlerons plus loin à propos de ceux-ci.

Production et commerce du pétrole. — Historique. — Nous nous contenterons de rappeler sommairement l'histoire de l'industrie du pétrole qu'on peut trouver développée dans divers ouvrages spéciaux.

L'usage des hydrocarbures divers remonte à une haute antiquité. La Bible signale l'emploi du bitume dans la construction de l'arche et de la tour de Babel. Hérodote (440 ans avant J.-C.) parle d'une ville située à 35 milles de Suse, où il y avait des mines de sel, de bitume et d'huile. Sur les bords de la Caspienne, en Perse, dans les vallées du Tigre et de l'Euphrate, les gaz combustibles jaillissants étaient même l'objet d'un culte religieux. En Amérique enfin, on trouve, dès 1627, dans les travaux d'un missionnaire français, Joseph Delaroche-Daillon, une première mention des gisements pensylvaniens ; mais il faut arriver à notre siècle pour constater un emploi industriel de ces produits minéraux.

En 1830, on peut citer une première tentative faite à Autun par M. Selligue qui obtint de l'huile en distillant des schistes bitumineux. Puis, en 1845, un Américain, le Dr Abraham Gesner, parvint à extraire une huile lampante de la houille. En 1847, M. James Young, de Glascow, établit dans le Derbyshire une vaste usine pour traiter le boghead et le cannelcoal.

Néanmoins, l'emploi des huiles minérales resta fort limité jusqu'au jour où, en 1853, un avocat de New-York, nommé depuis le roi de l'huile, Oil king, ayant remarqué chez un ami une bouteille de pétrole de Venango (Pensylvanie) acheta dans la vallée d'Oil-Creek toutes les terres susceptibles de contenir du pétrole, et forma la première compagnie d'huile minérale.

De 1853 à 1860, les résultats commencèrent par être très médiocres; on se contentait, suivant la méthode des Indiens, de creuser des puits de 3 mètres de profondeur au fond desquels on appliquait des couvertures de laine qui s'imbibaient d'huile et qu'on tordait ensuite.

Enfin, en 1850, on rencontra près de Titusville, à 23 mètres de profondeur, une première source de pétrole un peu abondante qui fournit 1 500 litres d'huile par jour. On eut l'idée de creuser plus profondément, et on découvrit d'abord le second niveau de pétrole, puis le troisième qui, tandis qu'il fallait pomper les deux premiers, fut, lui, jaillissant.

La spéculation prit alors des proportions colossales ; rien que dans New-York, il y eut bientôt 317 compagnies représentant un capital de plus d'un milliard. Toute la région entre Titusville et

Oil City, sur 22 kilomètres, fut perforée dans tous les sens. Le premier grand centre de production du pétrole, la Pensylvanie, était constitué.

On y a trouvé quelques sources extraordinaires ; ainsi l'*Empire well* qui fournissait 2 000 barils[1] par jour en 1862 et ne fut épuisé qu'en 1866, *Phillipswell* qui donna 3 000 barils par jour pendant six semaines. Mais surtout le nombre des puits se multiplia rapidement. En sorte que la production, pendant quelques années d'abord contenue dans des limites assez restreintes (moins de 4 millions de barils de pétrole brut jusqu'en 1870), put faire, de 1870 à 1883, un bond énorme jusqu'à 31 millions de barils, en même temps que l'usage du pétrole pour l'éclairage se répandait dans toutes les parties du monde et que ses emplois comme combustible se généralisaient en Amérique.

Cependant on commençait à chercher de tous côtés des gisements semblables à ceux qui avaient eu cette extraordinaire fortune. On en trouva dans le Canada, la Caroline, le Colorado, la Californie, la Virginie, l'Ohio; en Europe, dans l'Alsace, la province de Parme, la Galicie, la Roumanie. Mais aucun de ces gisements n'était de nature à pouvoir lutter avec ceux d'Amérique jusqu'à la découverte (en 1879) de ceux du Caucase, qui depuis 1882, ont pris à leur tour une extension considérable en envahissant le marché de l'Orient et refoulant de l'Est de l'Europe les pétroles d'Amérique. En 1888, la production, toujours croissante, du pétrole brut au Caucase, a fini par dépasser celle de la Pensylvanie tout en restant notablement inférieure à celle des États-Unis où l'Ohio, depuis 1887, occupe une place importante; mais il ne faut pas oublier qu'au Caucase on n'obtient que 35 p. 100 d'huile lampante contre 70 p. 100 en Pensylvanie.

Le tableau suivant donne par ordre d'importance les gisements pétrolifères avec leur production. Un autre montre jusqu'en 1890 la comparaison des pétroles américains et de ceux du Caucase. Un dernier[2] donne, d'après M. Deutsch[3], la consommation du pétrole en 1886, dans le monde entier.

[1] Le baril de pétrole vaut 159 litres.

[2] Pages 68 et 69.

[3] *Génie civil*, t. XI, n° 10.

PRODUCTION DES PRINCIPAUX GISEMENTS PÉTROLIFÈRES [1]

ANNÉES	ÉTATS-UNIS			RUSSIE (CAUCASE)		CANADA		ROUMANIE		GALICIE	
	Production en tonnes	Valeur moyenne (en francs)	Valeur totale	Production en tonnes	Valeur en francs	Production en tonnes	Valeur moyenne en francs	Production en tonnes	Valeur totale en francs	Production en tonnes	Valeur totale en francs
1880	2.558.500	.....	.....	351.760	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1881	2.213.000	185,10	409.626.300	490.000	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1882	3.870 000	31,73	122.795.100	828.000	.....	56.000	101,14	41.000	4.000.000	.....	.....
1883	3.103.000	34,18	106.067.000	990.000	.....	59.000	141,9	.....	.....	.....	.....
1884	2.813.000	35,34	99.411.420	1.479.000	30.000.000 à 62.000.000	71.000	33,21	.....	.....	30.000	4.350.000
1885	3.621.000	28,50	103.198.500	1.906.000	.....	63.000	36,00	.....	.....	.....	.....
1886	3.125.000	.....	.....	1.980.000	.....	77.000	31,50	.....	.....	.....	.....
1887	3.639.000	26,70	97.161.300	2.750.000	.....	98.000	31,62	.....	.....	.....	.....
1888	3.522.000	35,97	126.686.340	3.200.000	.....	95.000	40,00	.....	.....	.....	.....
1889	4.529.000	.....	.....	3.259.000	.....	82.000	37,65	.....	.....	.....	.....

Comme gisements secondaires, on peut citer :

Indes, Birmanie, etc. (en 1889). .	10.000 t.	à 42,20	= 422.000 fr.
Japon (en 1879).	6.000	»	= 756.000
— (en 1885).	5.800	»	»
Hanovre (en 1884)	3.633	»	= 470.893
— (en 1885)	2.700	156,00	= 421.200
— (en 1886)	2.700	188,00	= 507.600
Allemagne (en 1890)	8.700	»	= 986.000
Hongrie (Oravicza) (en 1882). . .	743	»	= 157.838
Italie (Parme. Plaisance) (en 1884).	397	»	= 135.452
— (en 1885).	270	407,00	= 109.890
— (en 1886).	219	416,00	= 91.104
— (en 1889).	180	288,00	= 51.840

Le total approximatif de la production du pétrole du monde entier a été :

1881.	355.891	tonnes.
1882.	2.672.427	—
1883.	4.761.000	—
1884.	4.161.000	—
1885.	4.370.000	—
1886.	5.594.000	—
1887.	5.799.000	—

[1] Ces chiffres sont empruntés à la statistique de l'Industrie minérale de France.

1888. . . . . 5.712.000 tonnes.
1889. . . . . 6.465.000 —
1890. . . . . 7.995.000 —

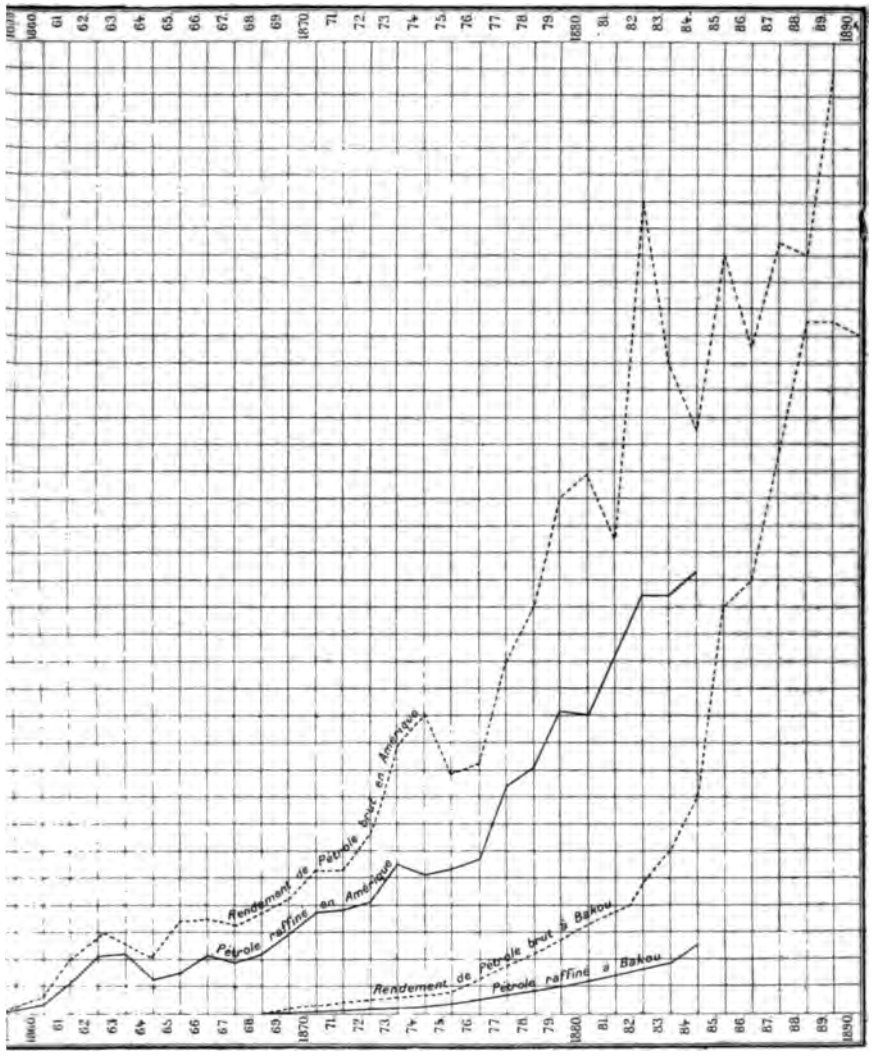


Fig. 11. — Tableau comparatif du développement de l'industrie du pétrole en Amérique et en Russie (Bakou)[1].

On voit comment, en dépit de ses inconvénients (odeur, etc...) et de ses dangers, l'usage du pétrole se répand de plus en plus et

[1] Ce tableau statistique est établi par millions de barils. Le baril de pétrole américain représente 159 litres.

TABLEAU COMPARATIF DE LA CONSOMMATION DU P

	PUISSANCES	HUILE AMÉRICAINE	HUI
		hectol.	h
Europe	Allemagne, Belgique, Hollande, Suisse	7.443 000	5
	Danemark	191.600	
	Angleterre	2.683.800	2
	Autriche-Hongrie	343.800	1.5
	Suède et Norvège	367.200	
	France	1.981.800	
	Russie	3.720	4.0
	Turquie d'Europe	184.600	1
	Grèce	52.300	
	Espagne	468.000	
	Portugal	98.600	
	Italie	616.300	
	Roumanie	»	
	Totaux partiels	14.434.720	6.3
Asie	Turquie d'Asie, Arabie, Perse	46.620	1.0
	Extrême-Orient	1.215.000	
	Indes	1.593.000	1.0
	Chine et Japon	1.620.000	
	Totaux partiels	4.474.620	2.0
Amérique	Uruguay, Paraguay, République Argentine	222.200	
	Etats-Unis, Mexique, Amérique anglaise	5.519.480	
	— centrale	283.600	
	Brésil	312.240	
	Vénézuela	28.700	
	Chili-Pérou	58.600	
	Colombie	30.000	
	Totaux partiels	6.455.020	
Afrique	Égypte	98.000	2(
	Algérie, Tunisie	34.200	
	Le Cap, Madagascar	77.300	
	Totaux partiels	209.500	2(
Océanie		160.100	
	TOTAUX GÉNÉRAUX	25.733.960	8.5

MONDE ENTIER PENDANT L'ANNÉE 1886. (D'après M. Deutsch.)

	HUILE ROUMAINE	PROVENANCES DIVERSES et SCHISTES	CONSOMMATION TOTALE	NOMBRE D'HABITANTS	CONSOMMATION par HABITANT
	hectol.		hectol.		litres.
	»	»	7.943.000	59.292.000	13,38
	»	»	191.000	1.970.000	9,72
	»	150.000	3.033.800	35.246.000	8,67
0	150.000	»	2.243.800	37.882.000	5,42
	»	»	392.200	6.675.000	5,87
	»	50.000	2.046.800	37.672.000	5,44
	»	»	4.003.720	100.038.000	4,00
	»	»	334.600	8.897.000	3,76
	»	»	52.300	1.940.000	2,68
	»	»	468.000	18.000.000	2,60
	»	»	98.600	4.348.500	2,26
	»	»	616.300	28.800.000	2,14
	100.000	»	100.000	5.376.000	1,86
0	250.000	200.000	21.524.720	346.136.500	6,22
	»	»	1.046.620	33.352.000	3,14
	»	»	1.215.000	70.000.000	1,73
	»	»	2.593.000	243.000.000	1,07
	»	»	1.620.000	437.438.000	0,34
	»	»	6.474.620	783.790.000	0,83
	»	»	220.200	2.541.000	8,74
	»	»	5.519.480	63.760.000	8,66
	»	»	283.600	6.480.000	4,37
	»	»	312.240	11.108.000	2,81
	»	»	28.700	1.780.000	1,61
	»	»	58.800	5.350.000	1,09
	»	»	30.000	3.000.000	1,00
	»	»	6.455.020	94.019.000	6,85
	»	»	298.000	16.921.000	1,77
	»	»	34.200	3.320.000	1,63
	»	»	77.300	21.000.000	0,37
	»	»	409.500	200.000.000	0,20 (?)
	»	»	160.100	36.000.000	0,44
0	250.000	200.000	35.023.960	1.459.945.500	2,39

comment la production augmente chaque année dans des proportions qui peuvent faire craindre un épuisement relativement récent des gisements beaucoup plus restreints, à notre avis, qu'on ne le croit en général.

En France notamment, l'usage du pétrole pour l'éclairage tend de plus en plus à se substituer à celui de l'huile. La consommation moyenne du pétrole par habitant était de 47 grammes en 1867; elle a été de 1ᵏ, 60 en 1868, de 4ᵏ, 80 en 1889, de 6 kilogrammes en 1890. En 1887, on n'avait importé que 17 983ᵏ; en 1888, l'importation s'est élevée à 58 930 tonnes; en 1889, à 184 101 tonnes.

Gisements. — Nous venons d'énumérer les principaux gisements de pétrole. Au point de vue géologique, ils se trouvent dans des terrains très divers : micaschiste au Vénézuéla; silurien au Canada; dévonien et carbonifère en Pensylvanie; houiller en Virginie; trias dans la Caroline du Sud; crétacé au Colorado, en Galicie, dans le Hanovre; tertiaire au Caucase; pliocène en Californie. Mais le pétrole peut être, comme nous le dirons, assimilé à une nappe aquifère artésienne ayant son point de départ dans des réservoirs intérieurs où le liquide, chargé de gaz, est emmagasiné sous pression depuis des temps géologiques divers[1]. Ce que l'on exploite et ce que l'on constate, en général, c'est non le réservoir lui-même, mais les épanchements qui s'en élèvent par des cassures de l'écorce. Le terrain où l'on rencontre le pétrole n'est donc presque jamais celui où il s'est en réalité originairement déposé. C'est pourquoi, au lieu de l'ordre géologique suivi par nous d'habitude, nous nous sommes trouvé conduit à adopter, pour la description des gîtes pétrolifères, l'ordre géographique.

Il est en effet toujours très difficile de déterminer l'âge d'un gisement pétrolifère par cette raison qu'il est même à peu près impossible de le définir sans faire une hypothèse, actuellement indémontrable, au sujet de son mode de formation. Car le pétrole,

[1] A moins d'admettre avec certains partisans de la théorie chimique ou volcanique que le pétrole continue partout à se former en profondeur, soit par réaction de l'acide carbonique superficiel ou des carbonates terrestres sur les métaux alcalins libres du noyau central, réalisant ainsi la synthèse des acétylures (Berthelot, etc.); soit à la façon des dernières fumerolles des volcans (Humboldt, etc.). Même dans cette hypothèse, il n'en est pas moins vrai que le pétrole tend constamment à s'élever.

en sa qualité de corps liquide emmagasiné sous pression dans l'écorce terrestre et facilement modifiable par une légère variation de température, ne se trouve jamais dans les couches géologiques que dans un état d'équilibre instable immédiatement troublé par tout mouvement du sol ayant pour effet d'ouvrir une fracture. Les régions où on le rencontre se trouvent toutes par suite localisées le long de quelque grand plissement ayant produit une compression intense dans les couches superposées. Il est certain que ce plissement a eu pour effet de déterminer l'ascension du pétrole par toutes les fractures qui se sont alors produites et sa dissémination dans les couches perméables qu'il a successivement rencontrées en s'élevant. On ne peut donc prendre comme âge de sa formation ni celui des couches les plus récentes où on le constate puisqu'il y a souvent pénétré par une remise en mouvement secondaire [1], ni même celui des couches les plus profondes puisque ce serait nier la possibilité d'un apport interne plus ou moins ancien, à laquelle l'influence, si nette, des actions mécaniques sur sa venue donne quelque vraisemblance. Resterait à se fonder sur l'âge de ces actions mécaniques. Mais les plissements d'une région sont toujours très multipliés et rien ne permettrait de déterminer à quelle phase de cette dislocation correspond l'ascension du liquide.

Bibliographie du pétrole en général.

*1867. Fouqué. — Etude chimique des cinq gaz des sources de pétrole de l'Amérique du Nord. (C. R., t. XVII, p. 1045.)

*1869. Berthelot. — Méthode universelle pour réduire et saturer d'hydrogène les composés organiques. (*B. S. C. P.*, t. XI, p. 278.)

1869. Sainte-Claire-Deville et Dieudonné. — De l'emploi industriel des huiles minérales pour le chauffage des machines. (C. R., t. XIX, p. 933.)

1869. Sainte-Claire-Deville — Deuxième mémoire sur les propriétés physiques et le pouvoir calorifique des pétroles et des huiles minérales. (C. R., t. XVIII, p. 349 et 485.)

*1870. Berthelot. — Recherches sur les états du carbone. (*Ann. Ch. et Ph.* (4), t. XIX, p. 396.)

[1] Voir pages 74, 79, etc... Comme phénomènes d'ascension actuelle du pétrole, on peut citer les makaloubes, salses, volcans de boue, etc. Les sondages qui font arriver le pétrole jaillissant à la surface ne sont d'ailleurs que la reproduction artificielle de ce qui a dû se produire naturellement par des fractures du sol résultant d'un plissement quelconque.

1871. NAUMANN. — Erdôl und Asphalt. (*Elemente der Mineralogie.*)

1871. BYASSOU. — Sur l'origine du pétrole. (C. R., t. LXIII, p. 609; *J. C. S.*, t. XXIV, p. 1024; *London chemical News*, 1871, p. 167; *Monit. scient.*, 1871, p. 261.)

1872. ANDERSON. — On the origin of petroleum. (*Journ. of the Society of art*, p. 501.)

1872. DUPAIGNE. — Le Pétrole, son histoire, sa nature. (Paris, 1872, in-18.)

*1877. MENDELÉEFF. — Sur l'origine du pétrole. (*B. S. C. P.*, t. I, p. 501; *B. de G.*, 1877, p. 229; *Deuts. Indus. zeit.*, 1877, p. 115; *Ind. B.*, 1877, p. 251; *W. B.*, 1877, p. 1037; *Revue scient. de la France et de l'étranger*, 2e série, 7e année, p. 409.)

*1878. RUSSEL. — On the occurrence of a solid hydrocarbon in the eruptive rocks of New-Jersey. (*Am. J. of Sc.* (3), t. XVI, p. 112.)

*1878. PERRIVAL. — On « indurated bitumen » incavities of the trap of the Connectitut valley. (*Am. J. of Sc.*, t. XVI, p. 130.)

1880. ASHBURNER. — Petroleum. (*Am. J. of Sc.* (3), t XIX, p. 168.)

1880. PERUTZ. — Die Industrie des Petroleums. (Vienne, Carl Gerold's Sohn.)

1880. WAGNER. — Die Prüfung des Erdôls. (*W. B.*, 1880, p. 849.)

1884. ACH. SIX. — Les hydrocarbures naturels de la série du pétrole. (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XI, p. 334. Lille, 1883-84.)

1886. MARCH. — Petroleum age. (*T. Am. I. M. E.*)

*1887. CREW. — Practical Treatise of Petroleum. (London, Sampson Low.)

1890. MANIGLER. — Le pétrole. (*B. Soc. Ind. min.*, 3e, t. IV, p. 637.)

*1891. H. DEUTSCH. — Le Pétrole et ses applications. (1 vol. in-8°, chez Quantin.)

Voir une bibliographie complète dans la *Pensylvania geol. survey*, 1886, 2e partie.

PÉTROLES D'AMÉRIQUE

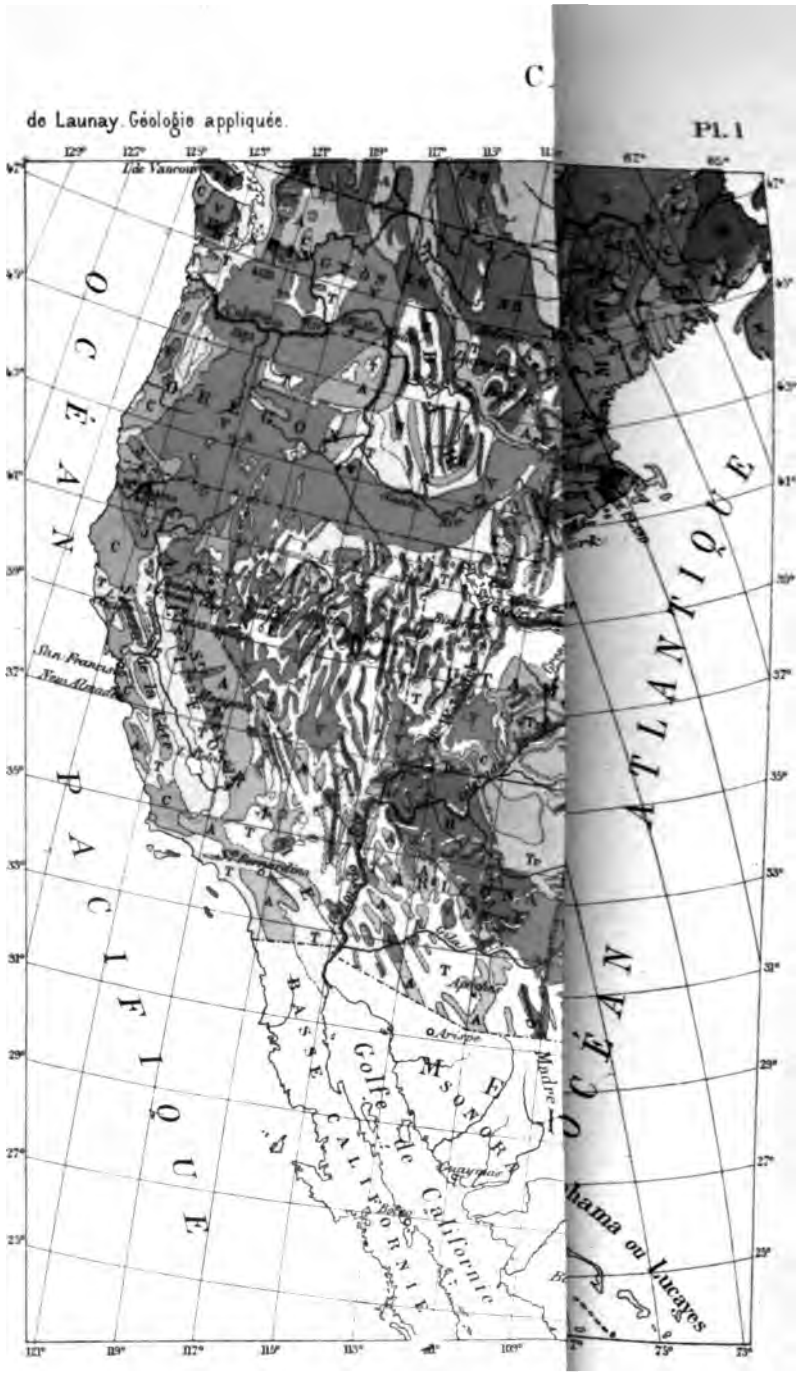
L'Amérique du Nord peut être représentée d'une manière schématique très simple comme formant, des Alleghany aux montagnes Rocheuses, un seul grand pli synclinal (compliqué, il est vrai, de plissements secondaires), dans le thalweg duquel se trouve le Mississipi. (Voir la carte géologique ci-jointe, pl. I.)

Si l'on part de l'océan Atlantique, on trouve jusqu'aux Alleghany des terrasses successives de tertiaire et de crétacé appliquées contre un massif de granite et de gneiss. En redescendant vers Pittsburg et l'Ohio, on recoupe des terrains anciens de plus en plus récents, silurien, dévonien, et l'on entre dans l'immense bassin permo-carbonifère de 1 500 mètres d'épaisseur, qui,

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX
TILDEN FOUNDATIONS

de Launay. Géologie appliquée.

Pl. 1



T
Tertiaire et Quaternaire.

C
Crétacé

V
Jurassiques volcaniques

Gravé chez L. Wuhrer, R. de l'Abbé de l'Epee 4. — Imp. Monrocq. — dry et Cie Éditeurs.

PLANCHE I

CARTE GÉOLOGIQUE ET MINIÈRE DES ÉTATS-UNIS

INDEX ALPHABÉTIQUE DES PRINCIPAUX NOMS MENTIONNÉS SUR LA CARTE

(Les chiffres renvoient aux degrés de longitude et de latitude figurés sur la carte, de façon à permettre de retrouver rapidement le rectangle où est inscrit un nom.)

	LONGITUDE	LATITUDE
Alleghany (Monts)	77-79	37-39
Anaconda (*cuivre*)	111-113	45-47
Arispe	111-113	31-33
Arizona (*cuivre*)	111-113	33-35
Austin	117-119	39-41
Bingham (plomb, argent)	111-113	39-41
Boleo (*cuivre*)	113-115	25-27
Butte City (*cuivre, argent, or*)	111-113	45-47
Charleston (*phosph.*)	79-81	31-33
Charlotte Harbour (*phosph.*)	81-83	25-27
Chicago	87-89	41-43
Chihuahua (*argent*)	105-107	27-29
Cincinnati	83-85	39-41
Comstock (*argent*)	119-121	39-41
Denver	103-105	39-41
Désert de Humboldt	117-119	39-41
Eureka (*plomb, arg.*)	115-117	39-41
Findlay (*pétrole*)	85-88	41-43
Fredonia (*pétrole*)	79-81	41-43
Grass Valley (*or*)	121-123	39-41
Helena	111-113	45-47
Keweenaw (*cuivre*)	87-89	47-49
Ile Royale (*cuivre*)	87-89	47-49
Lac Clear (*borax*)	123-125	39-41
Lac Huron	81-83	43-45
Lac Michigan	85-87	43-45
Lac Salé	111-113	41
Lac Supérieur (*cuiv.*)	85-91	47-49
Lac Tulare	119-121	35-47
Leadville	105-107	39-41
Lexington (*cuivre*)	111-113	45-47
Mariposa (*or*)	119-121	37-39
Minneapolis	91-93	45-47
Montreal	73-75	45-47
Negaunee (*fer*)	87-89	45-47
New Almaden (*merc.*)	121-123	37-39
New-Orléans	89-91	29-31
New-York	73-75	39-41
Niagara	79-81	43
Ocala (*phosphate*)	81-83	29-31
Oil city (*pétrole*)	79-81	41-43
Ottawa (*phosphate*)	75-79	45-47
Peace Creak (*phosph.*)	81-83	25-27
Philadelphie	75-77	39-41
Pittsburg (*pétrole*)	79-81	39-41
Pottsville	75-77	39-41
Pueblo	103-105	37-39
Quebec	71-73	45-47
Sakt lake city	111-113	39-41
San Bernardino	117-119	33-35
Saint-Louis	89-91	37-39
San Francisco	121-123	37-39
Shasta (Monts)	123-125	41-43
Silverton (*argent*)	105-107	37-39
Titusville (*pétrole*)	79-81	41-43
Toledo (*pétrole*)	85-83	41-43
Trois Rivières (*pétrole*)	71-73	45-47
Vancouver	123-125	49-49
Wahsatsch (Monts)	111-113	37-39
Warren (*pétrole*)	79-81	41-43
Yellowstone	109-111	43-45
ÉTATS DE		
Alabama	85-89	31-35
Arizona	109-115	31-37
Arkansas	91-95	33-35
Californie	115-125	33-41
Caroline du Nord	77-83	35-37
Caroline du Sud	79-83	33-35
Colorado	103-109	37-41
Connecticut	71-73	41-43
Dakota	97-103	43-49
Delaware	75-77	39
Floride	81-85	25-31
Géorgie	81-85	31-33
Idaho	111-117	43-47
Illinois	87-91	37-43
Indiana	85-87	39-41
Iowa	91-97	41-43
Kansas	95-101	37-39
Kentucky	83-89	37-39
Louisiane	91-93	29-33
Maine	69-71	43 47
Maryland	75-79	39
Massachussets	71-73	41-43
Minnesota	93-97	43-49
Mississipi	89-91	31-35
Missouri	91-95	37-39
Montana	105-117	45-49
Nebraska	97-103	41-43
Nevada	115-119	37-41
New-Hampshire	71-73	41-43
New-Jersey	73-75	39-41
New-Mexico	103-109	33-37
New-York	73-79	41-43
Ohio	81-85	39-41
Orégon	117-125	41-47
Pensylvanie	75-81	41
Rhode Island	71-73	41-43
Tennessee	85-89	35-37
Texas	95-103	29-35
Vermont	71-73	43-45
Virginie	75-81	37
Washington	117-125	45-49
Wisconsin	87-93	43-47
Wyoming	105-111	41-45

THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY

ASTOR, LENOX
TILDEN FOUNDATIONS

jusqu'à l'Etat de Nébraska et sauf une réapparition des terrains anciens à Cincinnati, occupe près de la moitié de la largeur de l'Amérique (bassins de Pensylvanie, de l'Illinois et du Whasatch). Dans le Nébraska, le trias, puis le crétacé et enfin le tertiaire s'élèvent vers la crête des montagnes Rocheuses où réapparaît le

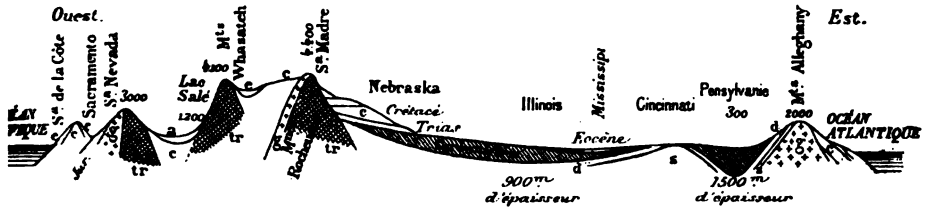


Fig. 12. — Coupe Est-Ouest (schématique), de l'Amérique du Nord.

a, alluvions ; — *e*, éocène ; — *c*, crétacé ; — *jur*, jurassique ; — *d*, dévonien ; — *s*, silurien ; *g*, granite et gneiss ; — *tr*, roches éruptives tertiaires.

granite percé de roches éruptives récentes atteignant plus de 4 000 mètres. Des montagnes Rocheuses aux monts Whasatch, on traverse des terrains crétacés et éocènes disloqués ; puis on entre dans la grande dépression du lac Salé (1 280m), formée d'alluvions anciennes, entre des contreforts crétacés et tertiaires recoupés de tous côtés par des éruptions tertiaires avec lesquelles de nombreux filons métallifères sont en relation. La

Fig. 13. — Coupe S.-S.-E. N.-N.-O. de la région pétrolifère de Pensylvanie et du Canada.

sierra Nevada est bordée à l'Ouest par du terrain jurassique; puis on rencontre le crétacé et le tertiaire formant la Sierra de la Côte et l'on arrive à l'Océan Pacifique.

Lorsqu'on fait au contraire une coupe Nord-Sud à travers West Virginia, Ohio, Pensylvanie, New-York et Canada, on voit, avec une régularité très grande, apparaître, du Sud au Nord, des terrains de plus en plus anciens plongeant vers le Sud : permo-carbonifère, dévonien, silurien et laurentien, jusqu'aux environs de

Montréal ; puis, en poursuivant le long du Saint-Laurent, on retrouve, en sens inverse, le silurien et le carbonifère.

C'est le long de cette coupe NS, parallèlement à la chaîne des Alleghany, que sont concentrés les pétroles de l'Ohio, de la Pensylvanie et du Canada dans des terrains anciens, de même qu'une coupe parallèle suivant les montagnes Rocheuses réunirait les pétroles situés dans le pliocène en Californie, dans le crétacé au Colorado et dans le Nevada.

Si nous nous bornons pour le moment à la région Est, il nous semble très important, au point de vue des théories orogéniques, de remarquer de suite la présence du pétrole suivant une ligne Nord-Sud, dans le silurien du Canada, dans le dévonien des comtés de Venango, Warren, Mackean, etc... (Pensylvanie), dans l'anthracifère à Pittsburg, dans le houiller de la Virginie orientale, dans le trias de la Caroline du Nord et sur les bords de la rivière de Connecticut. On retrouve partout dans le monde la même concentration des hydrocarbures le long des chaînes de montagnes, indifféremment dans tous les terrains qui affleurent sur les flancs de ces chaînes, alors que des terrains analogues n'en fournissent pas dans les régions non plissées : concentration analogue à celle des sources thermales dans les parties disloquées de la terre. Il est difficile de ne pas en conclure, comme nous l'annoncions plus haut, que le mouvement du plissement qui a produit l'arête montagneuse est en relation avec la montée des hydrocarbures dans l'écorce terrestre, et que, si leur venue peut être ainsi assez récente, ils proviennent originellement, tout au moins de la couche la plus profonde dans laquelle on les rencontre. Les nappes pétrolifères, aux niveaux où on les découvre aujourd'hui, ne sont généralement pas plus des formations contemporaines des couches au milieu desquelles elles s'interstratifient que ne pourraient l'être des nappes aquifères concentrées de même dans des strates perméables ; avec cette différence toutefois que la nappe aquifère s'alimente constamment par la surface et ne fait qu'y remonter après qu'elle en est descendue, tandis que les pétroles, quelle que soit leur origine, sont emmagasinés sous pression dans des réservoirs souterrains essentiellement limités et tendent à s'en échapper en jaillissant vers le

sol, toutes les fois qu'on leur offre une issue. C'est assez dire que le rapprochement auquel on a voulu attacher une grande importance entre les champs de houille de Pensylvanie et le pétrole (presque partout situé dans un terrain plus ancien) nous paraît tout à fait fortuit[1].

Parmi les divers gisements américains mentionnés ci-dessus, nous nous bornerons à ceux de Pensylvanie, de l'Ohio et du Canada; mais le sujet, même ainsi restreint, a déjà donné matière à d'innombrables écrits; nous nous contenterons de résumer les faits principaux, surtout d'après les travaux du *Geological Survey* et l'ouvrage récent de Benjamin Crew : *Practical treatise of Petroleum.*

PÉTROLES DE PENSYLVANIE

La région du pétrole pensylvanien, qui a une cinquantaine de kilomètres de largeur, est située entre le lac Erié et les Alleghany, dans le prolongement de la dépression du Saint-Laurent, elle-même parallèle aux grands plissements de la région. Les puits à huile sont groupés en un certain nombre de districts qui sont du Nord au Sud :

Groupe (oilfield) de Mac Kean[2]; groupe de Warren et de Forest; groupe de Venango; groupe de Lawrence (Slippery Rock o. f); groupe de Butler.

La ville la plus importante de la région est Pittsburg.

Cette contrée est située à une altitude assez faible et peu accidentée. Les terrains, presque horizontaux, sont seulement un peu redressés vers le Nord. Une légère ride bordant presque immédiatement à l'Est et au Sud le lac Erié, l'écoulement des eaux se fait vers le Mississipi. La rivière la plus importante est l'Ohio qui coule un moment vers le Nord du côté de Pittsburg en recevant

[1] Nous n'en dirons pas autant de la coïncidence constante de la présence du sel (et du soufre) avec celle des hydrocarbures.

[2] Les noms de ces groupes sont ceux des comtés.

comme affluents sur sa rive droite le Youghio gény, puis l'Allegheny à Pittsburg et le Beaver River — dont un affluent, le Consequenssing, passe à Butler (centre d'un des districts), et dont un autre, le Slippery Rock a donné son nom à un autre district. —

C'est surtout le bassin de l'Allegheny qui est riche en huile minérale ; il traverse successivement les districts de Bradford, de

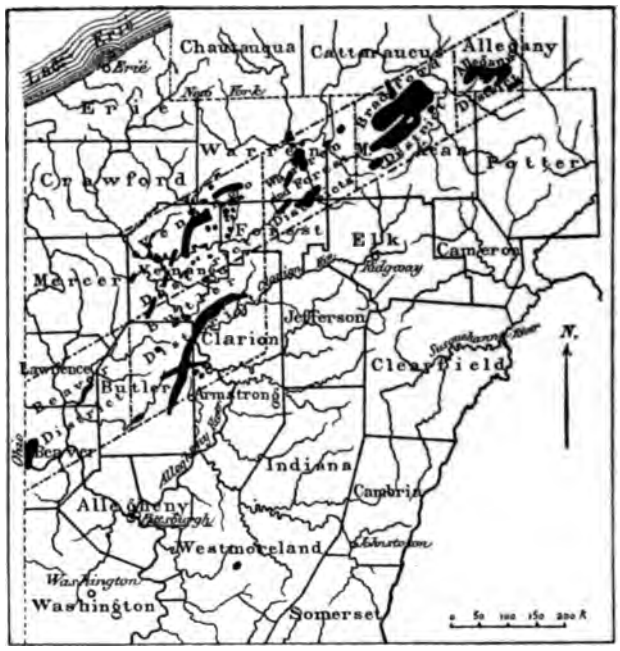


Fig. 14. — Carte des régions pétrolifères de la Pensylvanie.

Forest, de Venango et de Butler. Les sources de gaz naturel sont principalement groupées à l'Est et au Sud de Pittsburg.

La région Nord de ce vaste bassin, dans les comtés de Crawford et d'Erié, sur la crête qui sépare les grands lacs du bassin de l'Allegheny, atteint 3 ou 400 mètres au-dessus de la mer. Au sud, la chaîne des Alleghany s'élève à 1 000 mètres ; Pittsburg lui-même est à 200.

Géologie. — Nous avons dit plus haut comment tous les terrains de la région pétrolifère formaient des couches très régulières

nt un plongement général vers le Sud-Ouest. Les niveaux pétrole a été trouvé vont de l'étage dévonien de Portage ung au terrain houiller de Pensylvanie.

coupe générale des terrains intermédiaires est, d'après les ues américains, la suivante dans les Apalaches.

. . . .	Série de Waynesburg. . .	XVII		
	Série de Washington . . .	XVI		
	Série de Monongahela. . .	XV		
r pro-	Houille de Pittsburg (de 1 à 3m).	XIV	Bassin de la Flandre, de l'Artois, etc.	
tif	Terrain de Barren inférieur, 50m			
asures).	Terrain houiller inférieur (série des Alleghany), 130m.	XIII		
	Conglomérats de Pottsville.	XII		
onifère	Schistes rouges de Mauch Chunk, avec quelques couches calcaires, 900m.	XI	Grauwackes du Roannais.	
icain				
acifère.	Grès de Pocono (huile), 600m	X		
n supé-	Grès rouge de Catskill (huile), niveau de pétrole du Venango	IX	Psammites de Fiennes.	Famennien.
. . . .			Calcaire de Ferques.	
	Chemung Portage (huile) .	VIII		

ne façon plus particulière, un sondage fait aux environs de urg traverse les terrains représentés sur la figure 15 [1].

a partie supérieure, cette figure montre la grande couche de e de Pittsburg ; puis 50 mètres de houiller stérile (Barren) ; ètres de houiller inférieur des Alleghany, avec une dizaine de es de houille, limité à la base par une couche caractéristique caire ferrugineux à laquelle commence l'anthracifère. Aus viennent des terrains anthracifères généralement aréna- l'épaisseur assez variable suivant les points, comprenant histes de Mauch Chunk et les grès de Pocono de la coupe dente et nommés étage de Crawford du nom d'un comté ifère au Sud du lac Erié.

is la coupe générale des Apalaches donnée plus haut, l'anfère comprend : au sommet, les schistes de Mauch Chunk nt atteindre 900 mètres de puissance, schistes avec empreintes gues et de gouttes de pluie, traces de reptiles labyrintho-

r page suivante. Cf. Ratt, Pensylvanien, Heidelberg (1888).

dontes, etc...; à la base 600 mètres de grès anthracifères. Vers Pittsburg, cette série se réduit à environ 120 mètres de grès avec imprégnations pétrolifères et 140 mètres de schistes inférieurs qu'on peut observer dans le comté de Crawford.

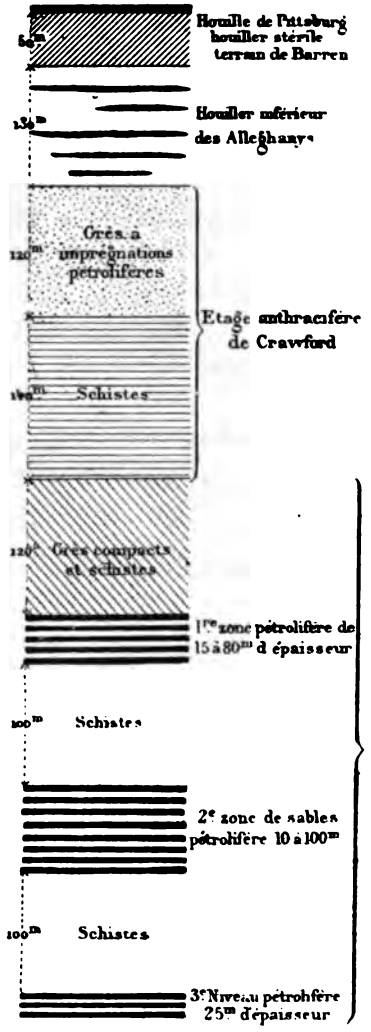


Fig. 15.

Enfin le dévonien, qui correspond au famennien européen, comprend les 3 zones pétrolifères de la région de Pittsburg. Il commence, à sa partie supérieure, par 120 mètres de grès compacts avec schistes et poudingues, au-dessous desquels se trouve une première nappe pétrolifère exploitée dans les comtés de Warren, Clarrow et Budlew et ayant produit, en 1884, 17000 barils par jour.

Puis on traverse de nouveau 100 mètres de terrains schisteux imperméables absolument stériles et l'on trouve, dans les grès de Warren, une seconde nappe pétrolifère atteignant 100 mètres d'épaisseur et ayant donné en 1884, comme production maxima, 16000 barils par jour.

Après 100 mètres encore de schistes argileux stériles contenant seulement quelques rares lits de grès un peu imprégnés que les sondages passent en tubant, on arrive enfin au troisième niveau pétrolifère qui est de beaucoup le plus important. Celui-là n'a que 25 mètres seulement d'épaisseur, mais il est formé presque exclusivement de sables pétrolifères et il a produit en 1881 jusqu'à 83 000 barils par jour ; aujourd'hui encore, 34 000 barils.

Plus bas, les schistes dévoniens argileux ne contiennent plus de pétrole que par endroits et l'on arrive au silurien (coniferus grupe) dans lequel un grand sondage a retrouvé deux horizons pétrolifères, dont le plus profond a 700 mètres correspondant à l'horizon pétrolifère du Canada (Enniskilen).

Au point de vue du rendement pétrolifère, on voit de suite, par cette brève description, que les terrains se divisent tout d'abord en deux catégories distinctes : les sables et grès riches en pétroles; les schistes et roches compactes stériles. On n'a jamais trouvé de pétrole ailleurs que dans les grès et sables. C'est, à notre avis, une preuve bien nette que le pétrole ne s'est pas formé sur place mais provient du dessous et s'est épanché, à la façon d'une eau artésienne, dans les strates perméables qu'il a rencontrées.

Ces strates perméables pétrolifères sont, d'après le Geological Survey, dans l'ensemble de la Pensylvanie et y compris les trois grands niveaux mentionnés plus haut à Pittsburg, les 8 suivantes que, par suite du plongement général des couches vers le Sud, on rencontre d'autant plus au Nord qu'elles sont plus profondes :

1° *Grès de Mahoning* à la base des terrains de Barren (XIV) [1], exploités à Dunkard Creek. (Comté de Green.)

2° et 3° *Conglomérats de Pottsville et grès de Berea* (XII). — Traces d'huile dans les comtés de Washington (Sud de Pittsburg), Beaver, Lawrence, etc...

4° *Grès de Butler* (niveau de Pocono, X, anthracifère inférieur). — Niveau de gaz pétrolifères d'une certaine importance ayant produit beaucoup de gaz dans le comté de Butler (au Nord de Pittsburg).

Ces niveaux supérieurs de l'anthracifère et du houiller ne sont que peu de chose à côté des suivants qui se trouvent dans le dévonien :

5° *Groupe pétrolifère de Venango.* — Appartenant à la base de l'étage de Catskill (IX). Ce niveau couvre la partie Sud-Ouest du comté de Warren et presque tout le comté de Venango. On y a obtenu beaucoup de gaz dans la partie Sud du comté de Venango.

6° *Groupe de Warren* (au Nord-Est du précédent). — Etage de

[1] Les chiffres romains se rapportent à la coupe de la page 77.

Chemung (VIII). L'épaisseur de ce groupe est d'environ 200 mètres. On y rencontre quatre ou cinq niveaux de sables productifs, les uns donnant huiles et gaz, les autres gaz seulement.

7° *Groupe de Mac Kean* (au Nord-Est du précédent). Egalement dans l'étage de Chemung (VIII). — L'épaisseur de ce groupe paraît, d'après les géologues locaux, être d'environ 800 mètres ; mais il est possible qu'une partie soit commune avec le groupe précédent.

Ces trois groupes de Venango, de Warren et de Mac Kean correspondent aux trois grands niveaux de la Pensylvanie précédemment cités.

Enfin, 8° *le groupe d'Elk* est formé de niveaux mal connus exploités dans le comté d'Elk.

Si l'on cherche à préciser l'allure des gisements de pétrole, on se trouve en présence des faits suivants :

La profondeur habituelle des sondages est de 2 à 300 mètres quoiqu'on ait été souvent jusqu'à 400 mètres. Cela dépend naturellement, avec la position de l'affleurement, de l'épaisseur des schistes à traverser pour arriver à un banc de grès. Les couches, tout en ayant dans l'ensemble une allure très régulière, sont partout légèrement plissées. On a soutenu tour à tour qu'il fallait aller chercher l'huile, soit dans les synclinaux où elle avait dû s'accumuler comme dans un thalweg (idée peu compatible avec les fortes pressions auxquelles elle est soumise), soit dans les voûtes anticlinales où les cassures avaient dû l'amener en plus grande quantité. Les deux opinions prétendent s'appuyer sur l'expérience; nous aurons à y revenir[1] quand nous nous occuperons de l'origine des hydrocarbures ; on peut seulement en conclure dès à présent que les flancs inclinés des plis sont les parties les moins favorables.

Exploitation du pétrole. — L'exploitation du pétrole est des plus simples. Dans tous les cas, on commence par atteindre, au moyen d'un sondage, la nappe de pétrole qui peut : soit monter naturellement jusqu'au jour (*flowing well;* cas plus rare qu'au Caucase); soit ne s'y élever qu'à l'aide de pompes (*pumping well*).

Le sondage, qui est la première opération, est aujourd'hui très

[1] Page 147.

perfectionné et s'exécute aisément en 15, 20 ou 30 jours. Il nous paraît inutile de décrire ici l'installation du chevalement, nommé *dérick*[1]. Le *dérick* a environ 25 mètres de haut et 4 mètres de côté à la base. Dans les régions pétrolifères, on en voit de véritables forêts. Les trépans, cloches et systèmes de tubages sont de même étudiés dans les traités spéciaux d'exploitation, et nous n'en parlerons pas. Voici seulement, d'après Crew, quelques chiffres sur les dépenses d'installation :

Charpente.	8 700
Tuyau avec jointures, télégraphe, etc	2 500
Machine de 15 chevaux et chaudière.	18 700
Forge : main-d'œuvre, fourniture d'instruments, câble, combustible, etc., à 50 francs le mètre d'avancement ; pour 500 mètres.	25 000
Revêtement sur 100 mètres à 6 francs le mètre. . .	6 000
Tubage sur 530 mètres à 15 francs le mètre	7 950
Torpille (presque universellement employée avant le tubage)	2 500
Divers	7 550
	78 900

Soit en gros 80 000 francs pour un flowing-well.

Nous avons mentionné là une torpille. L'usage des explosifs dans le travail des puits à pétrole est absolument américain. La première idée en fut suggérée en 1862 par le colonel *Roberts*. On l'accueillit d'abord avec hostilité, craignant que, non seulement, il n'arrivât à aucun résultat, mais qu'il endommageât les sources. Cependant, en 1866, on l'autorisa à faire un essai sur le Woodin Well : un puit sec (dry hole), qui n'avait jamais produit une barrique d'huile. Le résultat de l'opération fut d'assurer une production de 20 barils par jour ; le mois suivant, une nouvelle torpille amena une production de 80 barils par jour. Le succès était complet.

On doit probablement l'expliquer par la destruction absolue des roches pétrolifères au voisinage du puits ; en sorte que le pétrole, qui y était enfermé dans mille petites cavités, se trouve mis à nu.

[1] Voir Crew, p. 177, pl. I, et les divers ouvrages spéciaux sur le pétrole.

Transport du pétrole. — Le pétrole une fois extrait, il reste à le transporter au point de vente et à l'élaborer. Nous ne parlerons pas ici de ce second point qui sortirait de notre sujet et nous entraînerait trop loin[1]; mais le transport du pétrole est une opération délicate et qui a été l'objet de perfectionnements intéressants.

Lorsque l'industrie du pétrole se développa en Pensylvanie, on eut bientôt fait d'y installer des chemins de fer suivant les vallées tortueuses des affluents de l'Allegheny. Sur ces chemins de fer, on commença par transporter le pétrole en barils amarrés sur une plate-forme, puis en cuves de bois de 2 000 gallons[2].

Après quoi, on utilisa les courants d'eau. On faisait le chargement sur des « *pond freshets* » par 15 à 20 000 barils et on les amenait ainsi à Oilcity où l'huile était transbordée dans de plus grands bâtiments. A une époque, 1 000 bateaux, 30 steamers et environ 4 000 hommes furent employés à ce trafic. En 1864, 20 à 3 000 barils ayant été perdus par accident, on se servit de barques divisées en compartiments. Puis, en 1871, les cuves de bois disparurent pour être remplacées par des réservoirs cylindriques en fonte de 3 000 à 5 000 gallons encore aujourd'hui un peu en usage.

Mais une véritable révolution se produisit le jour où l'on appliqua l'idée de transporter le pétrole en le refoulant par des pompes dans des tuyaux dits *pipelines*.

Le premier essai fut fait par un M. Hutchinson, qui installa un pipeline de 3 milles en plaçant, pour égaliser la pression et éviter les engorgements, tous les 20 ou 30 mètres, des chambres à air d'environ 10 pouces de diamètre. Cette première tentative fut malheureuse : à peu près toute l'huile s'échappa par les joints ; mais on ne se rebuta pas, et bientôt on arriva au résultat désiré. Aujourd'hui des lignes de tuyaux de $0^{m},15$ de diamètre traversent à peu près toute la longueur des deux grands Etats de New-York et de Pensylvanie, distribuant chaque jour des milliers de barils d'huile, tant aux raffineries placées sur leur chemin qu'aux bâtiments à leur extrémité.

[1] Il en sera dit seulement quelques mots à l'occasion des pétroles du Caucase. (Voir p. 103 et 115; voir en outre p. 62.)

[2] Rappelons que le gallon américain (ancien wine gallon anglais) représente $3^{lit.},785$; le baril de 42 gallons, 159 litres pesant (à la densité de 0,810), $128^{k},89$.

Les sources sont en relation avec ces lignes principales par des tuyaux de $0^m,05$. L'huile est d'abord reçue dans des cuves à son émergence, puis emportée par le tuyau sur lequel, de distance en distance, il y a des stations de pompes.

Ces stations de pompes consistent en une chaudière, une machine à vapeur et une pompe

La puissance de ces machines doit être assez grande pour faire passer l'huile rapidement par-dessus des collines en triomphant de la résistance due au frottement qui, par suite de la vitesse imprimée au pétrole, est considérable. Sur la ligne de Rixford à Williamsport (168 kilomètres de long), on a mesuré la pression due au frottement et on l'a trouvée égale à une colonne d'huile de 230 mètres de haut.

Aussi les tuyaux sont-ils construits pour résister à une pression de 140 kilogrammes par centimètre carré (2 000 livres au pouce carré).

Cette affaire du transport du pétrole par pipeline a pris des proportions dont on se fait difficilement l'idée en Europe. La société United Pipe Lines, contrôlée par la Standard Oil Cie, est la principale engagée dans cette entreprise. Elle se charge d'emmagasiner le pétrole et sert d'intermédiaire entre le producteur et le raffineur. Aujourd'hui le transport par chemin de fer et bateaux, quoique encore en usage, n'a plus qu'une importance secondaire.

Statistique du pétrole aux Etats-Unis. — Le tableau suivant (voir page 84) donne, en barils de 159 litres, la production de l'huile minérale en Pensylvanie par régions pétrolifères, de l'origine (1860) à 1882. On y remarquera que la production, en 1882. atteignait 30 millions de barils fournis pour plus de moitié (18 millions) par la division de Bradford, puis par celles d'Alleghany, de Warren et de Butler.

Le total de l'huile extraite montait, en 1882, à 216 millions de barils ; si l'on ajoute :

1883 — 24 000 000	1886 — 25 080 460
1884 — 23 500 000	1887 — 22 350 193
1885 — 20 900 000	1888 — 16 484 668

STATISTIQUE DU PÉTROLE DE PENSYLVANIE (D'après Crew).

Le tableau suivant donne en barils de 42 gallons (159 litres), la production de pétrole par centres de production depuis l'origine (1860) jusqu'en 1882[1].

ANNÉES	OIL CREEK Division	CENTRAL ALLEGHANY Division	TIDIOUTE and FAGUNDUS Division	BEAVER and SMITH'S FERRY Division	PITHOLE and CASHUP Division	BUTLER and ARMSTRONG Division	CLARION Division	BRADFORD Division	WARREN and FOREST Division	BULLION Division	ALLEGHANY COUNTY Division New-York	TOTAL
1859	2.000	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2.000
1860	120.000	75.000	5 000	»	»	»	»	»	»	»	»	200.000
1861	1.870.000	170.000	50.000	20.000	»	»	»	»	»	»	»	2.110.000
1862	2.860.000	125.000	40.000	30.000	»	»	»	»	»	»	»	3.055.000
1863	2.480.000	80.000	30.000	20.000	»	»	»	»	»	»	»	2.610.000
1864	2.000.000	85.000	30 000	15.000	»	»	»	»	»	»	»	2.130.000
1865	1.600.000	100.000	100.000	20.000	900.000	1.000	»	»	»	»	»	2.721.000
1866	2.000.000	200.000	600.000	25.000	900.000	5.000	2.000	»	»	»	»	3.732.000
1867	1.950.000	200.000	850.000	20.000	550.000	8.000	5.000	»	»	»	»	3.583.000
1868	2.300.000	300.000	750.000	20.000	300.000	25.000	20.000	1.000	»	»	»	3.716.000
1869	3.000.000	350.000	800.000	20.000	100.000	44.000	35.000	1.000	»	»	»	4.351.000
1870	2.900.000	400.000	1.000.000	20.000	75.000	900.000	75.000	1.000	»	»	»	5.371.000
1871	2.200.000	800.000	1.000.000	20.000	100.000	1.100.000	310.000	1.000	»	»	»	5.531.000
1872	1.700.000	800.000	1.000.000	25 000	200.000	1.700.000	830.000	2.000	»	»	»	6.357.000
1873	1.200.000	800.000	900.000	30.000	100.000	4.400.000	2.500.000	2.000	»	»	»	9.932.000
1874	800.000	500.000	400 000	30.000	50.000	5.200.000	3.900.000	3.000	»	»	»	10.883.000
1875	550.000	400.000	350.000	35.000	40.000	4.650.000	2.750.000	25.000	1.000	»	»	8.801.000
1876	650.000	350.000	350.000	35.000	30.000	4.700.000	2.400.000	380.000	55.000	65.000	»	9.015.000
1877	800.000	450.000	310.000	62.000	15.000	5.500.000	3.000.000	1.450.000	150.000	1.306.000	»	13.043.000
1878	750.000	350.000	300.000	92.000	10.000	4.500.000	2.250.000	6.500 000	110.000	505.000	»	15.367.000
1879	500.000	250 000	350.000	82.000	5.000	2.800.000	1.400.000	14.200.000	50.000	290.000	»	19.827.000
1880	400.000	170.000	230.000	103.000	3.000	1.700.000	900.000	22.300.000	90.000	147.000	5.000	26.048.000
1881	350.000	150.000	220.000	100.000	»	1.400.000	850.000	23.000.000	440.000	128.000	600 000	27.238.000
1882	280.000	155 000	195.000	80.000	»	1.300.000	600.000	18.000 000	3.300.000	100.000	6.450.000	30.460.000
Total.	33.262.000	7.260.000	9.860.000	904.000	3.378.000	39.934.000	21.827.000	85.866.000	4.196.000	2.541.000	7.055.000	216.083.000

[1] Le gallon américian vaut 3lit.,785; le baril de 42 gallons vaut 159 litres.

on arrive, au 1er janvier 1889, à environ 350 millions de barils pour la Pensylvanie.

Les états voisins, particulièrement l'Ohio, entrent d'ailleurs, depuis quelques années, pour une part considérable dans la production du pétrole aux États-Unis, comme le montre un tableau ci-joint :

PRODUCTION COMPARÉE DU PÉTROLE DANS LES DIVERS ÉTATS DE L'AMÉRIQUE DU NORD
(ENTRE 1875 ET 1888)

ANNÉE	PENSYLVANIE et NEW-YORK	WEST VIRGINIA	OHIO	KENTUCKY TENNESSEE et AUTRES ÉTATS	CALIFORNIE	TOTAL pour les ÉTATS-UNIS	CANADA
	Barils	Barils	Barils	Barils	Barils	Barils	Barils
1875	8.787.514	3.000.000	200.000	»	175.000	12.162.514	220.000
1876	8.968.906	120.000	31.763	»	12.000	9.132.669	312.000
1877	13.135.475	172.000	29.888	»	13.000	13.350.363	312.000
1878	15.163.462	180.000	38.179	»	15.227	15.396.868	312.000
1879	19.685.176	180.000	29.112	»	19.858	19.914.146	575.000
1880	26.027.631	179.000	38.940	»	40.552	26.286.123	350.000
1881	27.376.509	151.000	33.867	»	99.862	27.661.238	275.000
1882	30.053.500	128.000	39.761	»	128.636	30.349.897	275.000
1883	23.128.389	126.000	47.632	»	142.857	23.444.878	250.000
1884	23.772.209	90.000	90.081	»	262.000	24.214.290	250.000
1885	20.776.041	91.000	650.000	»	325.000	21.842.041	250.000
1886	25.798.000	102.000	1.782.970	225.000	377.145	28.285.115	250.000
1887	22.350.193	145.000	5.018.015	51.817	678.572	28.249.597	868.345
1888	16.484.668	119.448	10.010.868	310.612	690.333	27.615.929	772.392

A un autre point de vue, si l'on compare la production des trois niveaux pétrolifères principaux pour une année déterminée, 1880 par exemple, on a :

1er niveau	101 704	barils
2e —	176 766	—
3e —	23 869 808	—

c'est-à-dire que la presque totalité du pétrole vient aujourd'hui du niveau inférieur.

Rendement d'un puits. — Tous les puits sont loin d'être productifs. Le tableau suivant indique, pour ces dernières années, la

proportion du nombre des puits nouveaux utiles ou stériles (dry holes) :

1880	—	4 203	utiles	—	143	stériles
1881	—	3 848	—	—	167	—
1882	—	3 263	—	—	178	—
1883	—	2 949	—	—	263	—
1884	—	2 193	—	—	256	—

Ces chiffres montrent à la fois une diminution de moitié en quatre ans sur le nombre des puits foncés et une augmentation de près du quadruple sur la proportion des puits stériles par rapport aux puits utiles.

Par contre, on tombe parfois sur des sources extraordinaires. C'est ainsi qu'on peut en citer une dans le comté de Butler à Penna qui, foncée en octobre 1886, ne donna pas moins de 9 à 10 000 barils pendant quelques jours, mais, au bout de deux mois, tomba à 500 barils.

D'une façon générale, le rendement de tout puits diminue avec le temps et souvent très vite. On admet que le rendement moyen d'un puits est de 15 hectolitres (1 200 kilos) par 24 heures, et sa durée moyenne d'exploitation de 2 années, 82 (chiffre très supérieur à celui de Bakou, Caucase, où la durée moyenne n'est guère que de six mois). Le rendement minimum d'un puits exploitable est de 6 h. 400.

Qualité du pétrole. — La qualité de l'huile varie avec la nature et la profondeur des terrains où on la rencontre. En principe, en un point donné, les huiles les plus légères sont celles qui viennent de la profondeur la plus grande.

L'huile de Pensylvanie est d'une couleur verdâtre et, à l'état naturel, d'une odeur assez désagréable. Elle donne par distillation 70 à 85 p. 100 d'une bonne huile à brûler, qui est généralement vendue sous la condition qu'elle ne s'enflammera ni ne passera en vapeurs au-dessous d'une température de 108 à 116° F.

Quelques-unes des sources de la Pensylvanie et de l'Ohio produisent une huile de couleur ambrée qui tient près de 90 p. 100 de pétrole et 5 p. 100 de naphte et qu'on emploie dans les manufactures de laine à la place d'huile de saindoux.

Législation. — Dans les principaux districts pétrolifères des Etats-Unis, sur les points contenant ou étant supposés contenir de l'huile, le permis de recherche est généralement concédé par le propriétaire pour une période de trente ans. Celui-ci se réserve un droit variant de un dixième à la moitié de l'huile et reçoit souvent en outre une somme fixe de 25 000 à 50 000 francs (1 000 à 5000 francs l'acre en Virginie, 5 000 francs au cœur de la Pensylvanie, etc.). Le locataire est tenu de commencer le travail dans les deux mois et de le finir dans un temps donné.

Prix de vente. — Les prix de vente (sur place) du pétrole brut ont subi des fluctuations violentes.

En 1860, ces prix atteignaient 500 francs pour le baril de 42 gallons ou 159 litres. L'année suivante, en 1861, le pétrole n'avait plus aucune valeur et des milliers de barils furent jetés à la rivière. En 1864, nous voyons les prix remonter à 300 francs pour baisser ensuite d'une manière continue jusqu'à 44 francs en 1875. En 1876, ils s'élèvent de nouveau à 93 francs ; depuis ils ont baissé constamment. En 1884, le prix moyen était de 26 francs. Voici d'ailleurs le tableau depuis 1860 :

ANNÉES	PLUS HAUT PRIX	PRIX MOYEN	ANNÉES	PLUS HAUT PRIX	PRIX MOYEN
1860	500	250	1873	63	43
1861	25	13	1874	46	28
1862	56	26	1875	44	33
1863	95	80	1876	95	63
1864	300	200	1877	87	60
1865	206	164	1878	40	54
1866	112	93	1879	29	22
1867	80	59	1880	26	24
1868	130	90	1881	23	22
1869	175	143	1882	28	19
1870	112	95	1883	30	26
1871	116	106	1884	28	26
1872	101	90			

Comme nous avons donné la production depuis l'origine, de simples multiplications nous permettent de nous rendre compte, pour chaque année, de *la valeur du pétrole extrait.*

On trouve ainsi, pour une seule année, 1884 :

23 596 945 barils à 26 fr. = 615 520 670.

Et la production totale du pétrole en Pensylvanie, depuis l'origine jusqu'en 1884, arrive au chiffre colossal de

266 334 890 barils valant 11 099 799 500,

soit en gros 11 milliards.

Si l'on envisage l'exportation du pétrole et de ses dérivés des Etats-Unis, on voit qu'elle a été en moyenne, dans les dernières années, de 500 à 600 millions de gallons.

Bibliographie du pétrole en Pensylvanie.

1862. — Rapport sur l'expl. de l'huile minérale dans l'Amérique du Nord, par Gauldrée Boileau. (*Ann. d. M.*, 6e série, t. II, p. 95.)

1866. Hitchkock. — (*British assoc. geol. Mag.*, t. IV, p. 34 ; cf. *Ann. d. Min.*, 6e série, t. XIV, p. 554.)

1867. Sterry-Hunt. — Sur les pétroles de l'Amérique du Nord. (*B. S. G.* 2e série, t. XXIV, p. 570.)

1868. Peltzer. — Uber die Entflammbarkeit verschiedener Distillations-Produkte aus Pennsylvanischem Petroleum. (*Dingler*, CLXXXIX, p. 61; *Journ. of the Franklin instit.*, t. LXXXVI, p. 333; *Fürther Gewerbezeit.*, 1868, p. 71 ; *Polyt. Centralblatt*, 1868, p. 1248; *W. B.*, 1868, p. 712.)

1868. Warren. — Hydrocarbons of Pennsylvania Petroleum. (*Am. J. of Sc.* (2), t. XLV, p. 262.)

* 1869. Foucou. — Le pétrole et les hommes d'huile de l'Amérique du Nord. (*R. d. M.*, avril 1869.)

1870. Blass. — Geschichte, Industrie und chemische zusammensetzung des Amerikanischen Petroleum. (*Arch. der Pharm.*, t. CXCI, p. 50.)

1870. Burkart. — Uber die Produktion von Petroleum in Nord-Amerika, (*B. u. H. Z.*, 1870, p. 373 ; *Polyt. Centralblatt*, 1871, p. 143 ; *W. B.*, 1870, p. 697.)

1872. Lesley. — Record of fourteen oil wells at Brady's Bend, Armstrong county, Pennsylvania. (*Proc. of the Am. Philos. Soc.*, t. XII, p. 562.)

1873. Foote. — Discovery of petroleum in Pennsylvania. (*Amer. Chimist.*, t. III, p. 174.)

1873. Peckham. — American asphaltum. (*Amer. Chimist*, t. IV, p. 6.)

1874. — — Statist. de la product. du pétrole en Pensylvanie de 1859 à 1874. (*Ann. d. M.*, 7e, t. X, p. 656.)

* 1875. Wrigley. — Petroleum region of western Pennsylvania (2 planches). *first Annual Report of the second Geol. survey Pennsylvania*, 1875 ; *B. u. H.* 3, 1876, p. 137 ; *W. B.*, 1876, p. 111.)

1876. Bourgougnon. — Pennsylvania petroleum. (*Amer. Chim.*, t. VII, p. 81 ; *Le Tech.*, t. XXXVIII, p. 49.)

1876. SADTLER. — On the chemical composition of Pennsylvania petroleum. (*Amer. Chim.*, t. VII, p. 181 ; *W. B.*, 1877, p. 1038.)

1876. SMITH. — Puits de gaz en Pensylvanie. (*An. Ch. et Ph.*, (5), t. VIII, p. 566 ; *B. S. C. P.*, 1877, n° 3 ; *Pr. I. Civ. En. London*, t. XLVI, p. 955 ; *Chemisches Centralblatt*, 1876, p. 606 ; *W. B.*, 1876, p. 1178.)

1877. HENRY. — Sur le pays de l'huile dans l'Amérique du Nord. (*Ind. Min.*, Compt. Rend., août 1877.)

* 1877. HORNECKE. — Das petroleum in den Vereinigten Staaten. (*Hübners Z.*, 1877, n° 7, p. 21; *W. B.*, 1877, p. 1043.)

1877. MARTINS. — Die Amerikanische Petroleum Industrie. (Berlin, 1877.)

* 1878. HŒFER. — Bericht der Oester Commission in Philadelphie. (*N. J. Min.*, p. 87; cf. *Rev. de géol. ; Ann. d. Min.*, 7°, t. XVII, p. 9.)

1878-79. ASHBURNER. — Oil well records in the northern or Bradford oil region, Pennsylvania.

1878. HENRY. — Note sur le pays de l'huile de l'Amérique du Nord. (*Bull. Soc. Ind. min.*, 2e série, t. VII, p. 135. Saint-Etienne.)

1879. WRIGLEY. — Etat et avenir des pétroles de Pensylvanie (*Eng.*, 28, p. 164.)

1882. R. BELL. — On the occurrence of petroleum in north-west territories. (*Proceedings of the Canadian institut. New Series*, t. I, n° p. 225. Toronto, Canada, 1882.)

1884. — Le pétrole d'Amérique. (*Cuyper.*, t. III, p. 585.)

1886. E. ORTON. — Petroleum and natural gas as found in Ohio. (*Science*, t. VII, p. 560. New-York, 1886.)

1886. ASHBURNER.— The product and exhaustion of the oil regions of Pennsylvania and New-York. (In-8°, 10 pages.)

* 1886-1887. — Publications diverses de Ashburner, Carll, Lesley, Wrigley dans le *Geological Survey of Pennsylvania*. — (Le volume de 1886 (*Oil and Gas region*) contient une très longue bibliographie du pétrole.)

1887. BELL. — The petroleum field of Ontario. (*Proceedings and transactions of the royal Society of Canada*, 1887, vol. V, p. 99. Montréal, 1887.

1887. C. ASHBURNER. — Geologic distribution of natural gas in the United-States. (In-8°, 32 pages. Saint-Louis, 1887.)

* 1887. CREW. — Practical treactise of petroleum (London). (Sampson Low and C°.)

1888. PROOF. — Rapport over de petroleum Industrie in Nord America. (*Jaarbock van het Mijnwesen in Nederlandsch. Oest India*, 1888, p. 5. Amsterdam.)

1888. ORTON. — The new horizons of oil and gaz in the Mississipi. (*Proceedings of the american association for the advancement of sciences*. Salem., 1888.)

1888. VON RATT. — Pensylvanien. (Heidelberg., C. Winter.)

* 1889. NARCY. — Bitumes. (*Bull. de l'Ecole des Mines.*)

1889. N.-H. WINCHELL. — Natural gas in Minnesota. (*The geological and natural history Survey of Minnesota*. 17th rapp., p. 39, Saint-Paul, 1889.)

* 1891. DEUTSCH. — Le pétrole. (1 vol. chez Quantin.)

Pour terminer, quelques mots seulement sur les autres pétroles d'Amérique.

PÉTROLES DU CANADA

Les pétroles du Canada se relient intimement à ceux de Pensylvanie dont ils prolongent l'alignement. Les géologues du pays sont divisés sur l'âge des couches où on les rencontre ; les uns en font l'équivalent des schistes de Wenlock, c'est-à-dire du silurien inférieur d'Angleterre ; les autres les placent à la base du cambrien. En tout cas, ces terrains sont, conformément à la loi annoncée plus haut, beaucoup plus anciens que ceux de Pensylvanie.

Un caractère remarquable de l'huile du Canada, c'est la profusion de débris de mollusques et de crustacés, avec quelques traces de végétation marine, qu'elle contient. C'est un des faits les plus sérieux sur lesquels on s'est basé pour attribuer au pétrole une origine organique.

Les principales sources sont situées entre Dereham et Enniskillen dans un long anticlinal formé de calcaire surmonté par des schistes. Le pétrole semble être accumulé dans des cavités du calcaire.

La découverte de ces sources, à peu près contemporaine de celle des gisements pensylvaniens, date de 1857 et donna lieu à une fièvre de spéculation analogue. En 1862, on fit le premier *flowing well*. L'ouvrage de Crew sur le pétrole cite une trentaine de sources ayant de 30 à 80 mètres de profondeur et dont les plus importantes donnent 6 à 7000 barils par jour, c'est-à-dire plus de 9000 hectolitres. Le territoire pétrolifère s'étend sur 200 milles carrés.

Cette huile du Canada est assez légère, de densité 0,795, de couleur sombre et d'une mauvaise odeur ; mais les perfectionnements introduits dans la distillation ont permis néanmoins de l'utiliser.

Depuis que l'emploi métallurgique des gaz a pris son développement en Pensylvanie, on en a, comme nous l'avons vu[1], cher-

[1] Page 57.

t trouvé aussi dans la région pétrolifère du Canada, dans
ée du Saint-Laurent, entre Québec et Montréal.

Bibliographie du pétrole au Canada.

3. Boileau-Gauldrée. — Mémoire sur les pétroles du Canada. (*Ann. d.*
t. IV, p. 105.)
Robert Bell. — Report on an exploration of the east coast of *Hud-*
r. (*Geol. survey of Canada*, 1877-78.)
7. Crew. — A practical treatise on petroleum, p. 225.
— Davies, p. 225.
8. — Rapports annuels d'Obalski, ingénieur des mines de la province
bec.

MENTS SECONDAIRES DE PÉTROLE EN AMÉRIQUE

dehors de cette première zone principale qui comprend
nsylvanie et le Canada, l'Amérique renferme encore un
n nombre de bassins pétrolifères que nous allons men-
r.

côté des Alleghany, c'est d'abord une bande parallèle à la
ère, mais un peu plus à l'Ouest qui comprend le Sud de
(Washington, Meigs, Othens, Duck-Creek), l'Illinois (dis-
de Gallatin et Salina), et le Kentucky (district de Cumber-

côté de la Sierra Nevada, nous trouvons en premier lieu, au
la *Californie* qui a produit, en 1879, 568 803 gallons de
e, en 1882 : 4 903 920 et, depuis, des chiffres encore plus
érables. Ce pétrole sort du pliocène. Le Central Pacific Rail
Company l'emploie depuis quelques années au chauffage de
audières par un procédé de pulvérisation analogue à ceux
s en Russie[1].

'. Silliman. On naphtha and illuminating oil from heavy Californian ter.
an journal of science (2), t. XLIII, p. 242 ; *London chemical News*, t. XVII,
San-Francisco Bull., 3 avril 1867 ; *B. S. C. P.*, 1868, p. 77.)
Gibbs. Californian petroleum (*San-Francisco mining a scientific press*,
I, p. 368.)
Crew, p. 224.

Plus à l'Est, le *Nevada* et le *Colorado* renferment du pétrole dans des strates crétacées.

Dans le *Colorado*[1], la région pétrolifère de Florence (comté de Fremont) vient d'être étudiée par M. H. Eldridge. Elle est située dans la vallée de l'Arkansas, sur le flanc Est des Montagnes Rocheuses, à 92 milles au Sud-Ouest de Denver. Les premières exploitations y datent de 1862. Aujourd'hui, les principales compagnies sont l'United, Florence, Rocky Mountain (fondée en 1890) et Triumph. La production est d'environ 2 000 barils par jour (300 000 du 1er octobre 1890 au 1er octobre 1891). Les sources sont placées dans un bassin synclinal où apparaissent, de haut en bas : 1° le crétacé avec le groupe du Colorado (niveau de Dakota, Benton et Niobrara), le groupe du Montana (niveau de Pierre et de Fox Hills) et le groupe de Laumie ; puis le jurassique, le trias, le carbonifère, le silurien et l'archéen. L'huile provient surtout du niveau de Pierre, épais d'environ 1 000 mètres et formé d'argiles grisâtres ayant parfois une tendance à devenir sableuses avec lentilles calcaires. Les fossiles les plus abondants sont des Inoceramus, Cucullæa, Nautilus, Placenticeras, Baculites et Scaphites. On trouve également un peu d'huile à la base du jurassique ; cependant M. Eldridge est d'avis que l'huile doit provenir de décompositions organiques dans le niveau de Pierre parce que, si elle s'élevait de plus bas par des fissures, il devrait monter en même temps de l'eau venant des nappes aquifères du niveau de Dakota.

Si nous descendons au Sud, nous avons le *Mexique*[2], où l'on a commencé des exploitations dans l'Etat de Vera-Cruz. Les niveaux pétrolifères se trouvent à la base des montagnes de San Felipe, au Sud du port de Texpan. Au voisinage d'un petit lac nommé Lake Culco, les sources naturelles sont très abondantes.

A *Cuba*[3], le pétrole a été découvert depuis plusieurs années. On

[1] 1888. Newberry. The oil-fields of *Colorado*. (*Proceedings of the american Association for the Advencement of Science*. Salem, 1888.)
1891. Eldridge. (*American Instit. of mining Engin.*)

[2] 1872. Torrey. Mexican petroleum. (*Amer. Chemist.*, t. II, p. 290 ; cf. Crew, p. 68.)

[3] 1878. Rodriguez (B.). L'asphalte de Banes (île de Cuba). (*Revue univers. des Min.* (2), t. IV, p. 756 ; cf. Crew, p. 68.)

en exporte une variété spéciale d'asphalte liquide dit « Goudron des Barbades ».

On a également signalé sa présence à *San-Domingo* [1].

Au *Pérou* [2], le pétrole paraît avoir été connu avant la conquête espagnole. En 1863, l'attention des capitalistes américains fut attirée sur ce fait et des exploitations furent montées.

Le champ pétrolifère du Pérou se trouve sur la côte du Pacifique, entre le cap Blanc et la rivière de Tumbey, sur environ 190 kilomètres de long. Le village de Zorritos est le centre des travaux.

En 1867, on y a fait un sondage à 50 mètres de profondeur, qui a donné un *pumping well* de 60 barils par jour. Un second sondage à 75 mètres ne donna qu'une production de 10 à 12 barils par jour. Sur quoi, une société fut fondée et, en 1876, on fora un puits de 168 mètres qui vint tomber dans une sorte de fissure du sable pétrolifère et donna jusqu'à 1 000 barils par jour. Conformément à une remarque générale déjà faite, ce gisement longe les Andes, comme ceux de Pensylvanie les Alleghany ; on a en outre attiré l'attention sur la proximité d'une couche d'anthracite. (?)

La suite de ces gisements du Pérou se retrouve plus au Nord, dans la *République de l'Equateur*.

A 200 milles de Mendozza, dans la *République Argentine* [3], il existe aussi des schistes bitumineux et des sources de pétrole liquide.

[1] 1871. Marvine. Santo-Domingo petroleum. (*Report of the comission of Inquiry to Santo-Domingo*, 1871, p. 109-110.)
1872. Gabb. On the occurrence of petroleum in the island of Santo-Domingo. (*Am. J. of Sc.* (3), t. III, p. 481.)
1872. Waller. Notes on the petroleum of Azua (San-Domingo). (*Amer. Chemist.*, t. II, p. 220.)

[2] 1873. *Editorial.* Peruvian petroleum. (*Journal of the Soc. of Arts*, t. XXI, p. 234.)
1877. G. Uzielli. Nuovi sorgenti di petrolio nell' *America meridionale*. (*Boll. della R. Com. geol. d'Italia*, t. VIII, p. 150, Rome, 1877.)

[3] Davies, p. 228.

PÉTROLES DU CAUCASE

Après l'Amérique du Nord, nous avons dit que le principal centre de production du pétrole dans le monde était le Caucase. Là, tout au contraire de ce qui se passe en Pensylvanie, le pétrole est, non plus dans des terrains anciens dévoniens ou siluriens, mais dans des terrains tertiaires; en sorte que l'ordre géographique, exceptionnellement adopté par nous pour la description des pétroles, se trouve correspondre dans ses grandes lignes à une classification géologique.

Le Caucase renferme des gisements de pétrole sur presque toute sa longueur, spécialement sur son versant méridional à ses deux extrémités, dans la presqu'île d'Apchéron sur la Caspienne (Bakou); dans le Kouban (Taman), sur la mer Noire; en outre, dans les gouvernements de Tiflis, d'Elisabethpol, du Térek, du Daghestan, etc.

Cette ligne d'affleurements se prolonge même au delà de ses extrémités : d'une part, à Kertsch en Crimée, de l'autre dans le Turkestan.

Elle suit d'une façon très nette le commencement des plissements de la chaîne, et paraît d'autant plus développée que les montagnes voisines s'élèvent moins brusquement. Presque partout, le naphte est dans le tertiaire supérieur; mais il existe, dans le gouvernement de Koutaïs, des sources dans le jurassique. Parmi ces exploitations, celles de Bakou sont de beaucoup les plus importantes et représentent à elles seules plus de 90 p. 100 de la production; puis viennent celles de Taman; nous les décrirons successivement.

PÉTROLES DE BAKOU

Historique. — Les dégagements de gaz combustibles ou naphte ont été connus de toute antiquité dans la presqu'île d'Apchéron, sur la mer Caspienne; aussi les anciens y avaient-ils élevé un temple du feu.

Au moment de la conquête de Bakou par les Russes (1801), le gouvernement s'adjugea le monopole de l'exploitation du pétrole à Bakou, et afferma la région. Plus tard, lorsqu'on découvrit les gisements pétrolifères de Pensylvanie, pour permettre à l'industrie de Bakou de se développer, l'Etat russe diminua progressivement et finit par supprimer les redevances qu'il exigeait des exploitants.

C'est de cette suppression, qui eut lieu en 1877, que date la prospérité de Bakou. De grandes industries se formèrent; ceux qui donnèrent l'élan à la région furent MM. Nobel qui établirent les *pipelines*, et modifièrent de fond en comble les systèmes de transport usités, en créant les navires et les vagons citernes. Depuis cette époque, les pétroles de Bakou ont fait en Russie une concurrence croissante aux pétroles américains, et fini par approvisionner l'Allemagne.

L'exploitation du chemin de fer transcaucasien de Bakou à Batoum, commencée en 1883, a permis de les amener dans la mer Noire et la Méditerranée, mais ce chemin de fer à une voie ne peut suffire à son trop grand trafic. Aussi plusieurs projets consistant à établir des pipelines soit de Bakou à Batoum, soit sur une partie seulement du trajet, ont-ils été proposés.

En même temps, l'usage des résidus ou astakis pour le chauffage des appareils à vapeur s'est développé en Russie au point d'y remplacer la houille.

Aujourd'hui les principales sociétés exploitantes sont : après celle de Nobel dont les concessions occupent 40 hectares, la Société Caspienne qui en occupe 17; la Société Bnito, de même importance, appartenant en grande partie à la maison Rotschild, etc.

Depuis 1891, une crise, amenée par un excès de production et par la concurrence de la Standard Oil C°, qui représente une grande partie du pétrole américain, a fait fermer beaucoup d'usines secondaires et la production s'est, de plus en plus, concentrée dans quelques mains.

Si l'on en croit les conclusions optimistes de M. Mendéleef qui a été chargé en 1886 par le gouvernement russe d'étudier les conditions économiques de ce district, l'avenir de Bakou, où les sondages atteignent à peine le cinquième de la profondeur qu'ils ont aux

Etats-Unis, serait encore assuré pour longtemps. En tout cas, on peut dire que la moitié seulement des terrains naphtifères a été concédée et exploitée jusqu'ici.

Géologie. — La chaîne des montagnes du Caucase se termine du côté de la mer Caspienne par la presqu'île d'Apchéron, dont la partie méridionale offre une baie sur laquelle est située la ville de Bakou.

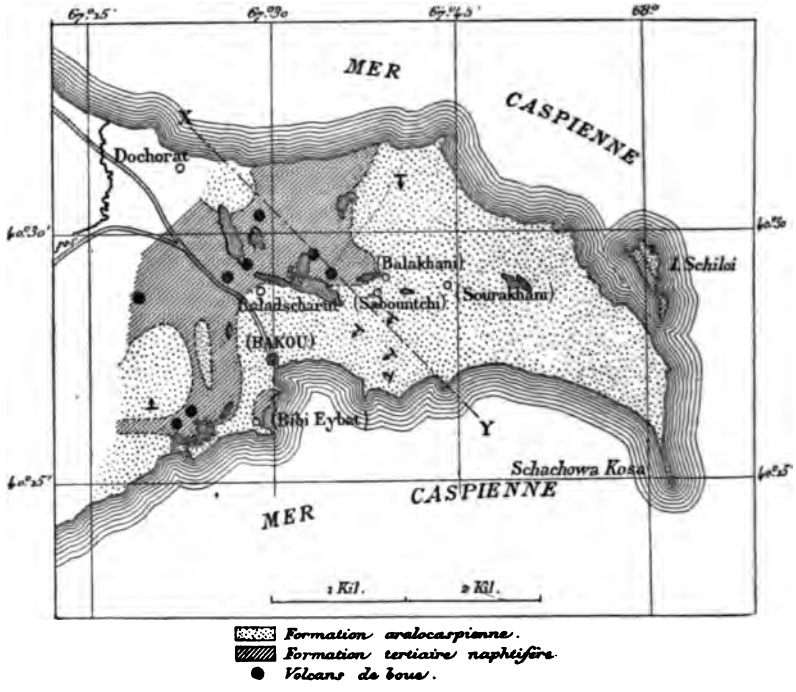


Fig. 16. — Carte géologique de la région pétrolifère de Bakou, presqu'île d'Apchéron (Caucase).

La portion centrale de cette presqu'île est élevée de 80 mètres au-dessus de la mer Caspienne; au centre de ce plateau, sont les villages de Balakhani, Sabountchi, Sourakhani..., autour desquels sont concentrées actuellement les exploitations du naphte.

En outre, plus au Sud, d'autres exploitations se trouvent à Bibi Eybat.

La géologie de cette région vient d'être l'objet d'une étude

péciale de MM. Sarokine et Simonovitch qui y ont reconnu l'exis-ence du tertiaire complet (éocène, oligocène et néogène) et du uaternaire représenté par des calcaires coquilliers blancs et caver-ieux de la formation aralo-caspienne. Une coupe NO-SE montre a disposition générale de ces terrains au plateau Balakhani; on y voit le tertiaire apparaître au centre d'un bombement bordé de terrain aralocaspien; l'allure plissée de ce dernier montre que les phénomènes qui ont produit l'orographie du Caucase se sont prolongés jusqu'à une époque très récente.

Le naphte se trouve exclusivement dans le tertiaire; jamais dans

Fig. 17. — Coupe transversale (théorique) XY de la région de Bakou.

la formation caspienne. Dans le tertiaire même, il paraît presque uniquement concentré dans les couches perméables (sables ou grès) de l'oligocène; cependant on constate également sa présence dans les couches supérieures néogènes à Sabountchi; il existe d'ailleurs aujourd'hui encore à Balakhani et à Bibi-Eybat des volcans de boue où se produit l'arrivée au jour des hydrocarbures.

Un fait essentiel et caractéristique à Bakou, c'est l'irrégularité absolue des phénomènes[1] observés à un point ou à un autre, irrégularité qui est en rapport avec celle même des couches du terrain. L'intérêt industriel qu'on pouvait avoir à constater l'existence de certains horizons constants, a seule conduit à énoncer des lois plus ou moins hypothétiques sur ces gisements. Il y a là, par suite, des conditions de dépôt absolument différentes de celles qui s'observent en Amérique.

Nous donnons ci-joint, comme exemple, les coupes et le plan de 4 puits appartenant à la Société Commerciale et Industrielle de Naphte, Caspienne et mer Noire, à Balakhani; les terrains que

[1] Cette irrégularité paraît encore augmentée par ce fait que les industriels s'attachent principalement à chercher des puits jaillissants, et que le jaillissement, dû surtout à l'accumulation du gaz sous pression, échappe à toute loi.

traversent ces puits sont des alternances de sables et d'argiles av
de très nombreuses imprégnations de naphte.

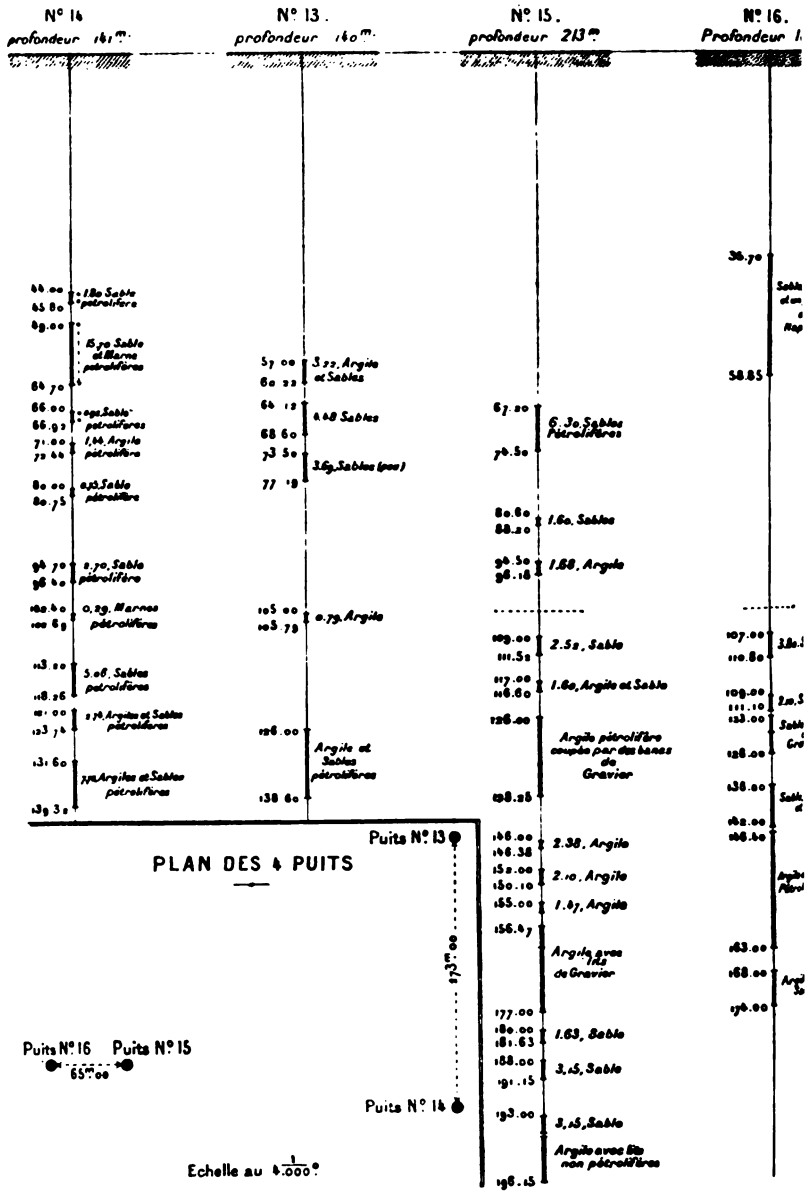


Fig. 18. — Coupes et plan de 4 puits appartenant à la Société Commerciale et Industrielle de Naphte, Caspienne et mer Noire à Balakhani.

ıfondeur des puits à Bakou. — La profondeur des puits à
u va sans cesse en croissant, comme le montrent les chiffres
nts, à mesure que les réservoirs supérieurs sont épuisés par
oitation. Même sans attendre cet épuisement des niveaux
s, on a d'ailleurs une tendance à creuser de plus en plus
ɔour trouver du pétrole encore sous pression et chargé de
ɹui jaillit dans les fontaines, tandis que l'exploitation d'un
ıu a pour effet de permettre à ces gaz de s'échapper rapide-
: ce qui force ensuite à pomper.
kolowsky affirme que, pour chaque nouvelle production de
000 de tonnes, il faut approfondir les sondages de 13 mètres.

1873-1877	Profondeur moyenne des puits.	53 à 63	mètres.
1878	— —	90	—
1879	— —	114	—
1880	— —	97	—
1881	— —	128	—
1882	— —	124	—
1883	— —	124	—
1884	— —	158	—
1885	— —	147	—

ı 1885, on recueillait de l'huile aux profondeurs variables
ıntes :

50	mètres à	84	mètres.
84	— à	105	—
126	— à	147	—
147	— à	168	—
168	— à	189	—
189	— à	210	—
210	— à	252	—

ı puits poussé plus bas, à 310 mètres, n'a rien donné.
tte huile est accompagnée souvent de gaz dont la composition
ı suivante :

Gaz des marais $C^2 H^4$	92,49	93,09
Ethylène $C^4 H^4$	4,11	3,26
Oxyde de carbone	0,93	2,18
Hydrogène	0,94	0,98
Azote	2,13	0,49

: tableau suivant résume les principales données statistiques
ives à la production de Bakou :

48532A

TABLEAU DE LA PRODUCTION DE BAKOU

ANNÉES	NAPHTE BRUT en tonnes	KHÉROSÈNE en tonnes		TOTAL	NOMBRE DE	
		Usine Nobel	Autres usines		Raffineries	Puits
1832	2.460	»	»	»	»	»
1840	3.540	»	»	»	»	»
1849	3.300	»	»	»	»	»
1863	5.500	»	»	»	1 (1859) 2 (1861)	»
1865	8.900	»	»	»	»	»
1867	16.100	»	»	»	»	»
1870	27.500	»	»	»	45	»
1873	64.000	»	24.500	24.500	»	17
1875	94.000	»	32.600	32.600	»	65
1876	176.000	100	57.000	57.100	»	101
1877	240.000	2.500	75.100	77.600	»	»
1878	320.000	4.550	93.000	97.550	»	»
1879	379.000	9.000	101.000	110.000	195	301
1880	420.000	24.000	126.000	150.000	»	»
1881	490.000	50.000	133.000	183.000	»	»
1882	828.000	72.000	128.000	200.000	»	375
1883	990.000	105.000	123.000	228.000	»	»
1884	1.360.000	152.000	213.000	365.000	»	»
1885	1.840.000	171.000	259.000	430.000	130	400
1886	1.980.000	»	»	»	»	490
1887	2.750.000	»	»	»	»	»
1888	3.200.000	»	»	»	»	»
1889	3.259.000	»	»	»	»	»
1890	3.100.000	»	»	»	»	»

Exploitation. — Il y a à Bakou deux sortes de puits en exploitation : les puits-fontaines, correspondant aux flowing wells de Pensylvanie, d'où le naphte sort en jaillissant, et les puits ordinaires correspondant aux pumping wells, d'où l'on extrait le naphte, soit en le puisant, soit en le pompant.

Pour choisir l'emplacement d'un puits à foncer, on ne se guide jamais dans la pratique sur des considérations géologiques; afin d'éviter que le voisin ne vienne drainer le naphte qui se trouve dans leur concession et d'en prendre au contraire le plus possible à leur voisin, les exploitants placent en général leurs puits le plus près possible des limites de leur concession et le plus près des puits qui ont donné les meilleurs résultats.

On ne peut jamais prévoir ce que donnera le fonçage d'un puits.

Pour creuser un puits, on emploie souvent le sondage à la tige,

adopté par la société Bnito ; souvent aussi le sondage à la corde, préféré par la société Nobel. Ce dernier, d'une installation plus simple, permet une facile exploitation en remplaçant le trépan par un seau quand le puits n'est pas jaillissant et qu'il faut y puiser le liquide, et le seau par un trépan quand le puits est épuisé et qu'on veut le réapprofondir ou seulement le nettoyer en cas d'engorgements de sable. Il a l'inconvénient d'être d'un maniement plus délicat. L'installation d'un puits avec sondage à 250 mètres est estimée à 83 000 francs, y compris l'amortissement à 25 p. 100 du matériel de sondage (à la tige) estimé 13 000 francs. Les puits sont toujours tubés ; les tubes en tôle ont 5 millimètres d'épaisseur et de 1 mètre à $1^{m},50$ de long. Le diamètre des puits varie entre 9 et 15 pouces. Un fonçage dans de bonnes conditions revient de 117 fr. 50 à 129 francs le mètre et, avec tubage, à 183 et 200 francs le mètre.

Quand on croit arriver au niveau contenant le naphte, — ce qu'on reconnaît souvent au dégagement de gaz combustibles sortant par l'orifice, — on prépare tout comme si la fontaine devait jaillir. Au dernier tube en tôle on fixe un tube en fonte que l'on assujettit solidement et auquel on adapte un chapeau permettant, soit de diriger le jet, soit de fermer l'orifice du puits. Malgré la grande épaisseur et le poids que l'on donne à ce système de fermeture et d'écoulement, il est souvent projeté au loin par la violence du jet de naphte, ou usé en quelques heures par la grande quantité de sable entraîné par le liquide.

Le jet de naphte est dirigé sur un volet en planches sur lequel il se brise et, de là, coule par des rigoles en sable jusqu'au bassin où on le conserve. Deux ouvriers suffisent pour exploiter un tel puits, leur principale occupation est de nettoyer les rigoles. Les puits sont presque toujours jaillissants au début, mais leur débit se ralentit et cesse bientôt. On cite une fontaine ayant jailli pendant cinq ans et donné 1 000 pouds[1] par jour ($1^{t},6$ 38^{k}).

Quand les puits cessent d'être jaillissants, on puise le naphte. On n'emploie presque jamais les pompes à cet usage, par suite de

[1] Le poud vaut $16^{kil},381$. On compte en général au Caucase non par barils, mais par pouds.

la difficulté d'installation et de la mauvaise verticalité des puits.

On se sert de la *jalunka*, seau en tôle de 3 à 4 mètres de long et ayant de 2 à 3 centimètres de diamètre de moins que le puits. L'extrémité supérieure est ouverte, l'extrémité inférieure rétrécie et fermée par une soupape s'ouvrant de bas en haut.

Pour remonter la jalunka, qui est fixée à un câble d'extraction, on emploie de petits moteurs de 10 à 20 chevaux qu'on peut facilement déplacer dès que le puits ne produit plus rien.

Il faut, en général, un homme pour embrayer et débrayer la bobine sur laquelle s'enroule le câble ; deux ouvriers ou même deux gamins pour vider la jalunka, manœuvrer le volet qui ouvre et ferme le puits et nettoyer les rigoles ; enfin un machiniste qui surveille 4 à 5 machines à la fois.

La vapeur est fournie par des chaudières chauffées au naphte brut, mais assez éloignées des puits pour éviter les incendies qui pourraient se produire à cause des dégagements de gaz combustibles, fréquents à l'orifice des puits.

Les ouvriers sont des Persans ou des Tartares et gagnent de 50 à 60 francs par mois ; la journée de travail est de 12 heures ; les gamins reçoivent de 40 à 50 francs.

Les seules difficultés de l'exploitation proviennent des ruptures de câbles.

Statistique des puits à Bakou. — Sur 344 puits forés, on avait, en 1885, la proportion suivante :

Puits productifs	142
Puits épuisés.	40
Interrompus par accidents survenus au tubage etc	57
Accidents survenus pendant le forage	13
En percement	73
Préparés pour le percement.	19
	344 puits.

1 puits fournit par jour 4^{t},9 en moyenne : soit, aux cours actuels, une valeur de près de 1 000 francs.

Quelques détails précis sur le fonçage et le rendement de divers puits en 1887 permettront de fixer les idées :

(a). *Puits de la Société commerciale et industrielle de naphte (Caspienne et mer Noire).* — 1° *Puits n°* 5. — Profondeur 120 mètres. Machine de 14 chevaux. La jalunka tient 12 pouds ou 196 kilogrammes; on extrait 1 200 pouds, = 19t,600 en 12 heures.

2° *Puits n°* 13. — A jailli le 2 mai 1887, d'une façon intermittente; il se dégageait beaucoup de gaz, et le jet entraînait beaucoup de sable.

Il a jailli le 3 mai.	40 000 pouds par jour		Le jet était toujours intermittent.
— 4 et 5 —	20 000	—	
— 6 et 7 —	40 000	—	
— 8 —	50 000	—	
— 9 —	40 000	—	

Le 10 et le 11, la fontaine s'est arrêtée, on l'a nettoyée ;

Le 12 mai	10 000
13 —	20 000;

le jet ayant cessé, on a curé de nouveau.

Le 19 mai	20 000	Pendant ces trois jours, on pompait et, après chaque enlevage de la jalunka, le jet recommençait.
20 —	15 000	
21 —	12 000	

Depuis, l'huile a cessé de jaillir et l'on extrayait, en 1888, 4 à 6,000 pouds (65 à 98 tonnes).

3° *Puits n°* 15. — Ce puits a jailli le 26 mai pendant trois heures, puis s'est arrêté, et a repris le soir. Il a donné :

Le 27 mai	150 000 pouds.
28 —	120 000 avec beaucoup de sable.
29 —	50 000 avec un jet intermittent.
30 —	50 000 —
31 —	30 000 —

La fontaine s'est arrêtée le 6 juin. On a pompé ensuite 4 à 5 000 pouds par jour (65 à 82 tonnes).

4° *Puits n°* 16. — La fontaine a jailli pendant 15 jours en janvier; on y a pompé 6 000 pouds par 24 heures.

La société Nobel possédait un puits, en septembre 1887, qui peut être considéré comme un type exceptionnellement favorable. Il jaillissait le 27 septembre 1887 depuis 28 jours, et donnait très régulièrement 40 000 pouds (650 tonnes) de naphte par jour

(24 heures). Le captage avait été facile, le capuchon qui couvrait l'orifice ne s'usait pas vite; le puits était devenu jaillissant à la suite de nettoyages; on y avait pompé autrefois.

(*b*). *Grande fontaine jaillissante appartenant à la société des Ingénieurs Russes.* — Cette fontaine a été foncée en août 1887: le 13 août, elle a jailli; puis, à 9 heures du soir, s'est arrêtée. On a cru n'avoir plus rien à craindre et on n'a pris aucune précaution pour capter un nouveau jet. Le lendemain, à 5 heures, la fontaine a recommencé à jaillir. Le 23 août, le jet s'élevait encore à 60 ou 80 mètres de haut et on recueillait 250 000 à 300 000 pouds (4 100 à 5 000 tonnes). Il se dégageait énormément de gaz et de sable avec le naphte. Les dégâts produits par cette fontaine ont été très considérables; des bâtiments voisins ont été ensevelis sous le sable et leurs toitures effondrées. Toutes les chaudières ont été éteintes dans un rayon considérable.

On a fait plusieurs tentatives inutiles pour boucher l'orifice de ce puits; des troncs d'arbres, des rails, un plateau de 22 tonnes en fonte ont été rejetés; ce n'est qu'après six semaines que l'on a pu la capter; elle produisait encore en ce moment 200 000 pouds (3 276 tonnes) par jour.

Cette fontaine n'est pas la plus productive qu'on ait vue à Bakou; la production en vingt-quatre heures s'est élevée pour quelques-unes à 500 000 pouds (8 190 tonnes); aucune n'a duré si longtemps.

(*c*). *Résumé.* — En résumé, les conditions d'exploitation sont essentiellement variables.

Le plus souvent, une fontaine est jaillissante au début; au bout de quelque temps, elle devient intermittente; puis il faut aller puiser le naphte au fond du puits.

Les difficultés sont souvent fort grandes; on doit toujours s'attendre à voir le puits se transformer en fontaine jaillissante pendant que l'on pompe. Le plus grand danger est l'incendie. Il se dégage constamment des gaz combustibles; tout le sol et les bois sont tellement imprégnés de naphte que, lorsqu'un incendie se déclare, il est à craindre pour tous. Une fontaine jaillissante a brûlé dix-huit jours après avoir pris feu accidentellement.

Un puits dure en moyenne deux ans ; il faut ensuite recommencer le fonçage jusqu'à ce que l'on arrive à un autre niveau suffisamment riche en naphte pour pouvoir être exploité avantageusement.

Transport aux usines. — Pour terminer ce qui a rapport aux pétroles de Bakou, nous donnerons quelques renseignements sommaires sur leur transport aux usines et leur distillation.

Autrefois le naphte était transporté brut dans des barils et vendu à la foire de Nijni-Novogorod ; aujourd'hui il est distillé dans les usines installées à Bakou.

Au sortir des puits, le naphte coule dans des rigoles en sable jusqu'à de grands bassins creusés dans le sol. On le laisse reposer quelque temps ; le sable entraîné se dépose. Des pompes le reprennent et l'emmagasinent dans des réservoirs en tôle ; puis d'autres pompes l'envoient de ces réservoirs aux usines, par des pipelines. Ces pipelines sont des conduits tubulaires en fer ; leur diamètre intérieur varie de $0^m,075$ à $0^m,25$; la dimension générale est de $0^m,10$ à $0^m,12$. L'épaisseur des tuyaux varie de 5 à 8 millimètres. La distance à laquelle le naphte est transporté est de 13 à 14 kilomètres.

Ces tuyaux reposent simplement sur le sol et suivent toutes les ondulations du terrain. On n'a en général rien à payer pour établir un tuyau sur une concession voisine, le morcellement des parcelles étant tel que l'on a constamment à se rendre la pareille. On peut évaluer tous les frais d'établissement d'un tuyau de $0^m,10$ de diamètre à 14 francs le mètre courant.

Toutes les distilleries de Bakou ne possèdent pas une pipeline les mettant en communication directe avec les puits. Les compagnies qui en possèdent font le transport pour les autres ; il y a, en plus, un certain nombre de pipelines appartenant à des sociétés qui ne possèdent ni puits ni usine et qui ne font que transporter du naphte pour les autres. Le prix moyen du transport de Balakhani à Bakou est actuellement d'environ 0 kopeck, 75 à 0k80 pour 1 pound (soit 8 centimes 28 à 8 centimes 92 la tonne kilométrique), et ce prix est à peine rémunérateur.

La différence de niveau est de 60 mètres environ.

Distillation du naphte. — Le naphte, tel qu'il sort de la terre, est un liquide visqueux franchement brun.

Sa composition est variable d'un puits à un autre, mais en moyenne correspond à

$$C = 86 \quad H = 13 \quad O = 1.$$

La densité du naphte de Balakhani est de 0,875. Du côté de Bibi-Eybat, le naphte est un peu plus léger.

Lorsqu'on le distille, les premiers produits qui passent sont des huiles légères, *Benzines* ou *essences de pétrole*. La distillation marche bien quand la densité des produits condensés atteint 0,720. On appelle benzines tous les produits de densité moindre que 0,760.

Au delà commence l'*huile lampante* ou *khérosène*. Sa densité varie de 0,760 à 0,875 ; la meilleure huile à brûler du Caucase a 0,822 pour densité. Ces produits distillent entre 150° et 170°.

L'huile brute et l'essence, ainsi obtenues à une première distillation, sont ensuite débarrassées des carbures éthyléniques qu'elles contiennent par un traitement à l'acide sulfurique concentré. Puis, après séparation de l'acide en excès, on neutralise les huiles par de la potasse pour enlever l'acide sulfureux ou les acides sulfo-conjugués obtenus dans la réaction précédente. Après ce double traitement, l'huile de Bakou est limpide. Cette purification des huiles legères s'applique aussi aux produits suivants de la distillation.

Au delà de 170°, on obtient en effet des huiles de plus en plus lourdes. La transition se fait par l'*huile solaire* ($d = 0{,}860$ à $d = 0{,}875$) ; puis arrivent les *huiles de graissage* qu'on divise en :

Huile à broche (spundel öl)	$d = 0{,}895$
— de machines (machinen öl)	$d = 0{,}910$
— de cylindres (cylinder öl)	$d = 0{,}914$

De ces huiles lourdes, l'huile solaire seule est d'un emploi difficile, les autres sont de bonnes huiles de graissage.

Si on pousse la distillation au delà de 380°, on obtient encore des huiles lourdes, mais elles sont presque solides à la température ordinaire. A Bakou, on s'arrête à 380°, et encore, dans

beaucoup d'usines, on se borne à faire la séparation du khérosène.

Les résidus, à quelque catégorie qu'ils appartiennent, se nomment *astakis* ou *atatkys ;* on y rejette souvent une partie des benzines qu'on ne peut vendre. On appelle *mazouts* les résidus naturels que l'on trouve dans les chaudières après le départ des khérosènes.

Les différences principales entre le pétrole de Bakou et le pétrole l'Amérique sont : d'abord que le premier ne tient pas de paraffine, ce qui permet son transport par pipeline sans craindre qu'il gèle même par les plus grands froids ; ensuite que la proportion d'huile ampante y est beaucoup plus faible ; enfin que la séparation entre es différents produits de la distillation est très nette. Ainsi, en listillant un liquide de densité 0,800 par exemple, la presque totaité du liquide distillé aura cette densité, et ce ne serait qu'en changeant notablement la température que la décomposition de ce produit aurait lieu. Cette stabilité des produits permet de pousser la distillation aussi vite que possible.

Pour opérer la distillation que nous venons de décrire, on emploie en général à Bakou de petites chaudières pouvant contenir environ 1 000 pouds du liquide (16 tonnes) et on active le légagement des vapeurs en brassant constamment le bain avec un courant de vapeur surchauffée. La proportion de vapeur employée est d'ailleurs arbitraire, elle s'élève fréquemment à 100 p. 100 du poids de liquide distillé pour le khérosène et les huiles légères et à 300 ou 350 p. 100 pour les huiles lourdes qui distillent toujours plus difficilement.

Transport du naphte et de ses dérivés aux points de consommation. — Le transport du pétrole aux points de consommation peut se faire par mer ou par terre :

Le transport par mer du naphte et de ses dérivés est actuellement considérable. C'est par la Caspienne et le Volga qu'on expédie la presque totalité des produits utilisés en Russie.

On employait autrefois le chargement des navires par des barriques ou des bidons en fer-blanc, tenant environ 16 kilogrammes de liquide. Mais ce mode de transport exige un emballage soigné et

une main-d'œuvre considérable ; aussi tend-il à disparaître pour faire place aux bateaux-citernes.

C'est la compagnie Nobel qui a fait construire la première ce genre de bateaux. Ils appartiennent à deux types : ou bien on établit une série de citernes n'empruntant jamais comme parois la coque du navire, ou bien le navire est divisé en compartiments par une suite de cloisons formant chacun une citerne.

Ces grands vapeurs chargent de 750 à 900 tonneaux chacun. Les chargements et déchargements sont faits par des pompes ; il faut 4 heures et demie pour remplir à Bakou un tanksteamer de 800 tonnes.

Chaque navire fait une quarantaine de voyages par an ; il rapporte, au retour, de l'eau douce pour alimenter les chaudières de l'usine.

Le transport du naphte par terre se fait au moyen de vagons-citernes contenant environ 9^{t},82 (600 pouds) de liquide. Ce sont de gros cylindres en tôle terminés à leurs extrémités par deux calottes sphériques. Chaque réservoir est couché sur un fort châssis en bois et tôle porté par quatre roues. Le chargement se fait par un tube vertical situé à la partie supérieure ; il demande 10 ou 15 minutes.

Emploi du naphte et de ses dérivés comme combustible. — Sur le plateau de Bakou, on emploie le naphte brut comme combustible ; partout ailleurs, les mazouts. Ces mazouts sont actuellement le seul combustible utilisé sur la mer Caspienne ou sur le Volga pour les navires à vapeur, sur les chemins de fer de Bakou à Batoum, dans les usines, etc...

Les *mazouts* constituent un liquide brun très foncé assez épais, mais coulant encore sans difficulté. Ils ont de grands avantages sur le charbon, ne donnent ni poussière ni escarbilles, sont faciles à emmagasiner et ont un pouvoir calorifique plus considérable.

Si 1 kilogramme d'anthracite vaporise 12^{k},2 d'eau, 1 kilogramme de mazouts en vaporise 16,2 ; le pouvoir calorique est donc de 33 p. 100 plus élevé. De plus, il résulte d'expériences que, si on utilise 60 p. 100 du pouvoir calorifique du charbon, on utilise faci-

lement 75 p. 100 de celui des mazouts. Le mazout a, en résumé, sur la houille, un avantage représenté par 7/4.

Il faut environ consommer $2^k,3$ à $2^k,5$ de mazouts par cheval et par heure.

Les mazouts reviennent à 8 ou 9 francs la tonne à Bakou (1891).

Les appareils usités aujourd'hui pour brûler les mazouts sont des brûleurs où on les pulvérise et où on transforme ce combustible liquide en un combustible gazeux. Pour que les mazouts brûlent bien, il faut que leur pulvérisation soit complète. On emploie, pour la pulvérisation, la vapeur en général, quelquefois l'air. Ce dernier système permet la mise au feu sans l'emploi d'un combustible étranger : ce qui n'a pas lieu pour la vapeur.

PÉTROLES DE TAMAN

Historique. — Les gisements du Caucase occidental, c'est-à-dire du Kouban ou de Taman, sont très anciennement connus. Ils ont commencé par être exploités par les Circassiens avant leur exode sur le territoire turc, particulièrement aux environs de Kapouchnaia Kalka : d'où le nom de puits circassiens encore donnés à des puits peu profonds destinés à recueillir les hydrocarbures superficiels. La production, comme celle de Bakou, s'est surtout développée depuis 1879. Elle est répartie entre un certain nombre de concessions données par le gouvernement russe pour un temps limité, et généralement très étendues :

Concession de	Novossiltzoff.	650 000	hectares.
—	Palienko.	5 844	—
—	Ketzlar	5 554	—
—	Melikoff.	6 555	—
—	Kartzoff.	7 789	—
		674 743	—

Quelques-unes des entreprises tentées dans cette région ont donné lieu à de grands déboires. Depuis 1883, la principale société exploitante est celle du Standard Russe dont les capitaux ont été surtout fournis par la France et la Suisse française.

Géographie. — Les gîtes sont concentrés dans une étroite bande d'environ 500 mètres de large qui suit le versant Nord du Caucase à quelques kilomètres de la mer Noire.

Le système du relief de ce pays est d'une grande simplicité; il se compose d'une arête centrale unique assez sinueuse mais dont la direction générale est à 130°[1]. Cette arête principale va vers le Nord en s'atténuant jusqu'à son raccordement avec la plaine marécageuse de Taman.

Le versant méridional est très irrégulier, il se compose de gra-

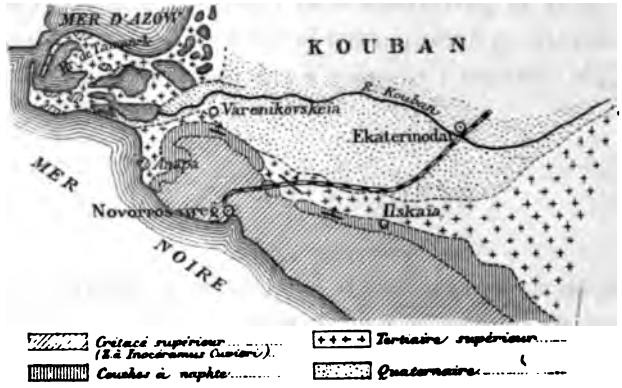


Fig. 19. — Carte géologique de la région pétrolifère du Kouban (Taman).

dins successifs, dont le dernier est la falaise crétacée qui borde la mer Noire.

Le versant septentrional, au contraire, se présente suivant une longue pente douce coupée de vallées d'érosions perpendiculairement à la chaîne principale (ce versant seul est pétrolifère).

Géologie de la région. — Au point de vue géologique, la chaîne caucasique se compose, dans sa partie occidentale, d'un relèvement des couches suivant un axe à 130°. Ce relèvement a porté sur les terrains crétacés et sur toute la série des formations tertiaires (éocène, miocène, pliocène) qui plongent aujourd'hui vers le Nord, de sorte que les affleurements des couches sont tournés vers le Sud.

Les premiers terrains que l'on rencontre en partant de la mer

[1] Nous comptons les directions de 0 à 180° du Nord vers l'Est, dans le sens des aiguilles d'une montre.

Noire sont les assises crétacées dont les bancs épais forment les falaises du littoral, puis les couches éocènes qui se continuent jusqu'au sommet de la chaîne, et enfin les séries miocènes et pliocènes qui forment le versant septentrional et finissent par disparaître sous les alluvions modernes de la plaine de Kouban. C'est dans le tertiaire, du miocène au pliocène, que l'on trouve les pétroles.

D'après M. Coquand, la coupe du pays comprendrait :

Pliocène (astien) non soulevé, dans la presqu'ile de Taman ;

Miocène supérieur (œninghien) : — couches à congéries formant les falaises de Kamysch Bouroun ;

Miocène inférieur (falunien) : — calcaires et marnes gypseuses, aux environs de Kertsch ;

Oligocène supérieur (stampien) : — niveau des pétroles correspondant aux gypses d'Aix ;

Oligocène inférieur : — calcaires et grès à fucoides (gypses de Montmartre et Gargas) ;

Eocène : — calcaires et marnes à nummulites.

Le soulèvement du Caucase se placerait entre l'œninghien et l'astien.

Un grand nombre de *volcans de boue* de dimensions colossales sont en relation avec les imprégnations pétrolifères et résultent vraisemblablement du simple dégagement des hydrocarbures emmagasinés dans les niveaux inférieurs : non, comme on l'a parfois soutenu, d'une formation contemporaine et éruptive d'origine profonde ; ces volcans de boue, qui produisent une eau salée et froide, ont une durée toujours éphémère. Quant au phénomène principal de la concentration du pétrole à certains niveaux, il semble pouvoir être rattaché au soulèvement du Caucase et au système de brisures résultantes, brisures parallèles à l'axe principal, mais qui, à cause de la variété des roches qu'elles traversaient, sont restées très irrégulières et ont été fréquemment recoupées par une série de cassures secondaires[1].

C'est ce faisceau de brisements qui a servi de conduits aux venues d'hydrocarbures liquides.

[1] D'après M. Konchine, le naphte qui apparaît à la surface viendrait d'une sorte de distillation d'un naphte plus lourd situé en profondeur.

Les huiles, dans leur mouvement ascendant, ont, comme dans toutes les régions pétrolifères, rencontré des roches de porosités diverses qu'elles ont imprégné plus ou moins fortement selon les circonstances.

Les grès, les sables et les calcaires se sont montrés les roches les plus favorables à l'absorption du liquide, tandis que les argiles, les marnes, et en général les roches grasses sont restées dans leur état primitif.

Il en est résulté que, les couches étant inclinées et variables dans leur perméabilité, le niveau pétrolifère est irrégulier, mais qu'il ne dépasse jamais une hauteur limite déterminée par les circonstances locales.

Centres d'exploitation. — Des sondages ont été faits sans grand résultat à Artanynokski, Pekeo, Titrovka; à Krapoutchnaia Balka on a recueilli quelques barils, de même à Kessler. Les deux districts de Soumarchkof et de Koudako ont au contraire une certaine richesse, bien qu'une entreprise, tentée par un financier fameux en ce dernier point, ait abouti à un échec.

Le centre le plus important du Kouban est *Illsk* (ou Ilskaïa) qui, en 1886 et 1887, a produit par an un million de pouds (16 000 tonnes).

On a constaté là l'existence de trois niveaux : le premier donnant une huile lourde de 0,960 à 0,970 que sa densité empêche de circuler dans les pipelines ; le second une huile de 0,870 à 0,890 avec beaucoup de gaz, et le troisième contenant une huile analogue mais plus riche et représentant l'avenir de cette région.

Exploitation. — L'exploitation se faisait jadis à l'aide de « puits circassiens » ; mais aujourd'hui ce procédé trop lent est absolument abandonné et remplacé par des forages tubés à l'aide desquels on peut pomper la masse liquide.

La *profondeur des puits* varie de 30 à 150 mètres.

Les tubes sont percés de trous, afin de permettre l'exploitation de deux niveaux différents à l'aide d'un seul forage.

La *durée des puits* est très variable. Dans la plupart des cas, ils fournissent du pétrole pendant plus de quatre mois; mais, quelque-

is aussi, il est nécessaire de cesser l'extraction et de les laisser repo-
r pendant une durée presque égale à celle de leur fonctionne-
ent. Beaucoup de puits cependant sont en activité depuis le
oment de leur forage.

On admet jusqu'ici comme durée minima une période de quatre
ois, le maximum ne pouvant être fixé, à cause même du peu de
nps qui s'est écoulé depuis que les premiers puits ont été forés.

Les anciens puits étaient de longue durée, mais l'extraction s'y
sait lentement.

Les huiles qui sortent du sol arrivent toutes à une température
21° environ.

La production moyenne d'un puits est d'environ 3 500 à
)00 litres par jour; mais, comme on l'a vu plus haut, cette pro-
ction est variable suivant les puits. (On admet pour les calculs
ie moyenne de 20 barils [1] ou 2t,50 pour 24 heures.)

La « pipeline » a été établie pour une circulation de
500 barils par jour, soit 425 000 litres.

Qualité de l'huile. — L'huile obtenue est transparente avec des
flets verdâtres et d'une faible odeur.

Sa densité, très variable, se trouve comprise entre 0,865 et
960. On distingue deux catégories : les huiles moyennes de den-
é plus faible que 0,900 et les huiles lourdes au-dessus de 0,900.
rtains pétroles de Ketzlar, de densité 0,835, pourraient représen-
r en outre une troisième sorte : les huiles légères.

Transports. — On a commencé à appliquer pour les transports
système américain des conduites en fer ou pipelines.

La grande longueur du chemin à parcourir (75 kilomètres) et
volume considérable de la masse à transporter (2 500 barils de
'0 litres par jour ou 425 000 litres) ont nécessité l'établissement
relais de pompes sur le parcours.

La seule « pipeline » qui existe aujourd'hui est celle qui, par-
nt d'Ilskaïa, passe par Abin et Niberjaia et vient aboutir à Novo-
ssisk sur la mer Noire.

De vastes réservoirs en tôle sont établis à chacune des stations,

[1] Le baril de Taman est, en pratique, d'environ 170 litres.

mais les trois premières seules sont munies de pompes foulantes.

Comme en Pensylvanie, le tube est posé simplement sur le sol. Le pétrole renfermé dans les immenses réservoirs de Novorossisk est mis en barils et embarqué directement; les frais de transports jusqu'à la mer sont donc insignifiants : on les compte à 0 fr. 20 par baril.

Distillation. — La distillation des huiles brutes donne les produits suivants :

100

- (1°) **20 p. 100 huile d'éclairage** (consommée en Russie).
- (2°) **40 p. 100 huiles à graisser** . . . . .
  - Série O. — Huiles à graisser les machines très délicates, montres, horloges, instruments de précision.
  - » I. — Huiles à graisser les machines à vapeur délicates.
  - » II. — Huiles à graisser les machines de grande puissance.
  - » III. — Huiles à graisser les machines grossières, essieux de wagons, etc.
- (3°) **30 p. 100 Atatkys.**
  - I° — 8 à 6 p. 100. — Goudrons traités chimiquement pour obtenir des couleurs analogues à celles extraites des goudrons de houille. Dans le Caucase, on se sert de ces goudrons comme combustible; leur pouvoir calorifique est double de celui de la houille.
  - II° — 8 à 9 p. 100. — Coke de pouvoir calorifique double de celui de la houille.
  - III° — 4 à 5 p. 100. — Gaz d'éclairage de pouvoir éclairant double de celui du gaz extrait de la houille.
- **10 p. 100. — Résidus inutilisables.**

Statistique. — La production a varié de la façon suivante :

Années	Production annuelle.	Nombre des puits en activité.
1832. . . .	2 455 500 kilogrammes	Citernes et puits circassiens.
1871. . . .	22 608 750 —	1 puits.
1873. . . .	64 677 800 —	17 —
1874. . . .	79 590 900 —	50 —
1875. . . .	94 993 000 —	65 —
1876. . . .	180 070 000 —	101 —
1879. . . .	376 510 000 —	301 —
1881. . . .	491 100 000 —	374 —

Aujourd'hui la production dépasse 600 000 000 kilogrammes.

Bibliographie des pétroles du Caucase.

1838. Verneuil. — Mém. géol. sur la *Crimée*. (*Mém. Soc. géol. Fr.*, 1re série, t. III.)

* 1864. D'Abich. — Etude sur les presqu'îles de *Kertsch* et *Taman*. (*B. S. G.*, 2e série, t. XXI, p. 259.)

1867. Bericht Uber die Durchforschung der Naphta districts im *Trans-Kuban* Gebiet und auf der Halbinsel *Taman*. (Tiflis, 1867.)

1870. Bjœrkland. — Uber das Vorkommen von Petroleum und ozokerit im Russischen Reiche (*Bjorkland pharm. zeitschrift für Russland*, 1870, n° 2 ; C.N., t. XXI, p. 203 ; *W. B.*, 1870, p. 703.)

1874. Trautschold. — Uber die Naphtaquellen von *Baku*. (*Geol. G. Z.*, t. XXVI, p. 256.)

1874. — Petroleum in Russia. (*J. S. A.*, t. XXIII, p. 53.)

1875. Bertels (G.-A.). — Ueber den Naphta district des nord-westh, Kaukasus. (*Corresp. Bl. für Naturverein in Riga*, 1875, n° 11 ; *Wagner-Bericht*, 1875, p. 1059.)

1875. Langer (J.-H.).— Erdœl. Lagerstætten am nordostlichen Ufer des Kaspichen Meeres. (*Oestrei. Zeitschrift für Berg und Hütten*, 1875, p. 153 ; *Chemisches centralblatt*, 1875, p. 429 ; *Wagners Bericht*, 1875, p. 1059 ; *Gornyi Journal.*)

1875. Koschkull. — Uber die Russische naphtal production. (*Hubners Z.*, 1877, p. 23 ; *W. B.*, 1877, p. 1025.)

1877. Churchill. — The Naphta wells in the neighborhood of *Baku*. (*Engineer*, 1877, p. 86 ; *Hubner's Z.*, 1877, p. 6 ; *Industrie Blætter*, 1877, p. 201 ; *B. u. H. Z.*, 1877, p. 178 ; *W. B.*, 1877.)

1877. Koschkul. — Vorkommen von Ozokerit im Kaukasus. (*Hubners Z.*, 1877, p. 73 ; *W. B.*, 1877, p. 1041.)

1877. Bertels. — Uber den Naphta district des Nordwestlichen Kaukasus. (*Leoben B. ü. H. Z., der Bergacademie*, t. XXV, p. 267.)

* 1878. Coquand. — Pétrole de *Taman*. (*B. S. G.*, 3e série, t. VI, p. 86.)

1879. Albrecht (M.). — Uber das petroleum von *Baku*. (*Rigasche Industrie Zeitung*, t. IV, p. 171 ; *Hübners Zeitsch.*, 1878, p. 83 ; *W. B.*, 1877, p. 1189.)

* 1879. H. von Abich. — Ueber das Vorkommen von Petroleum bei *Baku*. (*Verhandlungen der K. K. Geol. Gesollschaft*, 1879, p. 98. Vienne, 1879.)

1880. Beilstein (F.) und A. Kurbatow.— Uber die Natur der Kaukasischen Petroleums. (*Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, 1880, p. 181; *American journal of science and arts* (3), t. XXI, p. 67.)

1880. Dyer (consul à Odessa). — Petroleum district of *Baku* (*Consular report*, n° 1, octobre 1880.)

1880. Peacock (consular agent at Poti). — Petroleum district of *Kouban*. (*Consular report*, n° 1, octobre 1880.)

1880. Schutzenberger. — Recherches sur les pétroles du Caucase. (*Bull. Soc. chim.*, 1880, p. 67; *Berichte der deuts. chem. gesel.*, p. 2428.)

1883. Tournier. — Les pétroles de *Bakou*. (*Nature*, nov. 1883, p. 38.)

1885. Nobel frères. — L'industrie du pétrole à Bakou. (Saint-Pétersbourg, chez Trenké.)

* 1887. Coste. — Journal de voyage au Caucase. (Manuscrit à l'Ecole des Mines.)

1887. Stewart. — Les pétroles du Sud-Est de la Russie. (*Cuyper*, 1887, t. XXI.)

* 1891. Deutsch. — Le pétrole. (Chez Quantin.)

* 1892. Leproux. — Mémoires manuscrits à l'Ecole des Mines sur l'industrie du pétrole à Bakou et les gisements du Caucase.

PÉTROLES D'EUROPE

Les pétroles européens, en dehors de ceux du Caucase, ne présentent qu'une importance assez restreinte ; nous les décrirons, comme nous avons commencé à le faire pour les pétroles en général, par ordre d'importance industrielle : d'abord la Roumanie, qui est en voie de grand développement depuis quelques années ; puis la Galicie et la Croatie, le Hanovre, l'Italie, l'Allemagne (Alsace et Hanovre), la France.

PÉTROLES DE ROUMANIE[1]

Nous avons étudié jusqu'ici deux grands champs pétrolifères, en relation l'un avec la chaîne des Alleghany, l'autre avec le Caucase ; nous avons, en outre, décrit sommairement les gisements de l'Ouest de l'Amérique concentrés le long de la grande arête de la Sierra Nevada et des Andes. En Europe, nous allons retrouver de même les pétroles localisés, soit le long des Carpathes en Roumanie et en Galicie, soit le long des Apennins en Italie.

[1] Coll. *Ecole des Mines*, 1612.

a bordure des Carpathes, les gisements sont : les uns, ceux umanie (signalés depuis 1640) sur tout le versant Sud, en ıvie et Valachie ; les autres, ceux de Galicie sur le versant à Dukla et Sanok : dans les deux cas, sur la partie externe courbure, où les terrains se sont trouvés dilatés et ouverts e plissement, tandis qu'ils étaient comprimés sur la partie ıe.

ns le voisinage des pétroles roumains les plus anciennement us, à la hauteur de Cronstadt, la chaîne des Carpathes pré- la coupe Nord-Sud suivante.

ıartir de la vallée du Danube, composée d'alluvions quater- s, on trouve, vers Bukarest, un groupe de collines formées rrains pliocènes et miocènes très peu inclinés que couronnent ıarnes à congéries (miocène supérieur selon les uns, pliocène ieur selon les autres). Ces couches à congéries sont formées ıtiellement de grès très micacés avec nodules durs qu'on lle des Knotensandstein et d'alternances argileuses. Elles ıent en discordance sur un groupe complexe représentant le ène : des alternances de grès imperméables et de schistes ux assez fortement ondulés qui apparaissent à la hauteur de pina. Il y a là des lignes de fracture très nettes, montrées par fleurements de la Prachowa et de la Doflana.

ıs loin, vers le Nord, on recoupe des couches riches en gypse hongruppe des Allemands), considérées comme néogènes, qui ırment tous les gîtes de sel de la Hongrie, de la Galicie et de ıumanie ; le pétrole s'y trouve aussi.

ıfin, avant Commarnicu, une faille amène brusquement les carpathiques subdivisés, d'après les fossiles qu'on y a décou- , en quatre étages comprenant l'éocène inférieur et le crétacé ıieur.

s discordances, constatées entre les grès carpathiques et les ıes gypseuses d'une part, de l'autre entre le miocène et le ensandstein, montrent l'existence dans cette région d'un d mouvement de dislocation ayant commencé à l'époque ne et s'étant prolongé jusqu'au pliocène. Il en est résulté des ıres, particulièrement nettes dans le groupe marnogypseux, quelques-unes ont amené le pétrole. Sur la Prachowa, par

exemple, on peut voir ces couches à gypse former une voûte dont la clé est fissurée. Il est possible d'ailleurs que la localisation relative des pétroles dans les fractures du Salzthongruppe tienne à une question d'origine et à une relation assez obscure entre le pétrole et le sel de ces terrains.

Les sources de pétrole sont presque partout dans le terrain à paludines : à Kolibasch (prince Cantacuzène), Kampina (prince Stirbey), Monterou et Govora. Si l'on parcourt le pays du Nord au Sud, les gisements apparaissent dans l'ordre suivant :

Dans la partie Nord de la Moldavie, il n'y a pas, il est vrai, d'exploitation, mais on constate des suintements dans les thalwegs des vallées.

A Moineshti (Bacau), on connaît cinq lignes principales de fractures. Le pétrole s'y trouve souvent à la surface.

Plus au Sud, en Valachie, les terrains pétrolifères sont mieux découverts et c'est là qu'on rencontre les exploitations principales dans le terrain à paludines, les schistes à menilite, parfois le grès de Magura (Slanik). Les cassures sont N.-O.-S.-E. comme les plis de la région et réparties suivant trois lignes principales. La largeur de la zone varie de 10 à 15 kilomètres.

L'*industrie du pétrole* a eu quelque mal à se développer en grand en Roumanie par suite du défaut de voies de communication et du manque d'initiative des habitants ; le travail a consisté longtemps uniquement à creuser à bras d'hommes des puits peu profonds où l'on était obligé de travailler sans lampe et sous un courant d'air amené du dehors à cause des gaz et qu'il fallait boiser soigneusement en raison de la friabilité du sol. Mais, peu à peu, le travail s'est perfectionné.

Aujourd'hui les centres d'exploitation du pétrole sont Tirgoviste (département de Dambovitza), Kampina, Monterou (Buzeu) ; Moineshti (Bacau) ; on a fait en outre des recherches à l'Ouest, à Govora (Rimnik).

Généralement on emploie encore des puits au fond desquels on insufle de l'air au moyen de grands soufflets et l'on puise avec des seaux dont le câble, enroulé autour d'un tambour vertical, est tiré par des chevaux. Cependant, à Solontz et Kampina, on a introduit les sondages américains.

Les pétroles de Tirgoviste sont raffinés surtout à Grigorescu qui travaille environ 4 000 tonnes de pétrole ; ceux de Kampina à Kampina (Société des pétroles) qui distille près de 6 000 tonnes (40 ouvriers en été, 80 en hiver) ; ceux de Monterou et du Moineshti également sur place ; à Moineshti, on produit 5 000 tonnes. Enfin on vient d'installer une grande fabrique perfectionnée dans un faubourg de Bukarest à Satul Noû (90 ouvriers) ; celle-ci peut distiller jusqu'à 30 000 tonnes par an et, en 1891, elle en a travaillé 14 000.

A Moineshti, le centre principal d'exploitation est Solontz où l'on extrait également de l'ozokérite.

En 1873, la production totale a été de 13 923 tonnes ; en 1881, de 35 000 ; en 1890, de 62 000 tonnes.

Solontz, par exemple, a produit en 1887-88, 3 300 tonnes et, en 1890-91 : 6 215.

Les résultats généraux d'analyses ont donné :

	Inflammabilités degré Celcius.	Densité.
Kampina	28°,79	0,815
Tirgoviste	17°,15	0,7971
Moineshti	33°,3	0,8145
Société des pétroles (Bukarest) en 1889.	28°,22	0,8104
— — en 1890.	30°,01	0,8139
— — en 1891.	26°,55	0,8071
Moyenne générale	28°,08	0,8112

Bibliographie.

1867. Coquand. — Sur les pétroles de Moldavie et Valachie. (*Bul. Soc. géol.*, 2e série, t. XXIV.)

1868. Von Hauer. — Moldavian bitumen. (*Geologie Siebenbürges.*)

1868. Meyer. — Moldavian bitumen.

1868. Capellini (Giovanni). — Giacimenti petroleiferi di Valacchia. (Bologne, 1568, analysé dans les *Ann. d. M.*, 6e série, t. XIV, p. 552.)

1872. Fuchs et Sarasin. — Sources de pétrole de Kampina.

1878. Fretwel. — Petroleum in Roumania. (*Journal of the Soc. of arts*, t. XXVI, p. 481.)

1881. Paul. — Ueber Petroleum vorkommisse in der nordlichen *Walachei*. (*Verhandlungen der K. K. geol. Reichsanstalt*, mars-mai, 1881, p. 93. Vienne, 1881.)

1888. Davies, p. 219.

— Dr Olszewski. — Sur le pétrole de Roumanie.

1891. Saligny, etc. — Cercetari asupra pacurilor din Romania.

PÉTROLES DE GALICIE

Les gisements de pétrole de Galicie qui font suite, le long des Carpathes, à ceux de Roumanie, constituent, sur le côté extérieur (c'est-à-dire Nord) de cette chaîne, une longue bande d'environ 100 kilomètres de long entre Neu Sandar à l'Ouest et la Bukhovine à l'Est, et de 10 à 14 kilomètres de large. Nous aurons à y revenir lorsque nous étudierons l'ozokérite de Boryslaw.

De ce côté des Carpathes, le versant intérieur, c'est-à-dire hongrois, de la chaîne comprend également quelques niveaux pétrolifères, mais ils sont de peu d'importance et nous nous contentons de les mentionner.

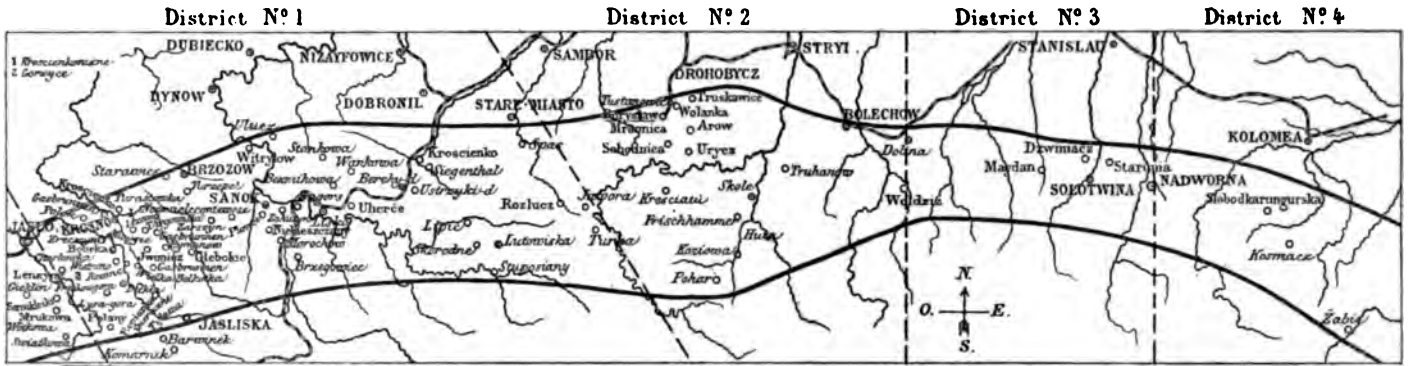
Historique. — De temps immémorial, les paysans avaient remarqué des suintements d'huile du côté de Dukla et de Krosno. En 1860, après la découverte des pétroles d'Amérique, on fit là quelques sondages. Aujourd'hui les centres d'exploitation sont : *Neu Saudac* à l'Ouest, *Dukla, Krosno* et *Sanok* au centre, *Boryslaw* près de Drohobycz et surtout *Sloboda* près de Kolomea à l'Est.

Géologie. — La région est essentiellement formée de terrains plissés, dirigés du Nord-Ouest au Sud-Est. Les plissements sont si énergiques qu'ils ont amené parfois des renversements comparables à ceux des Alpes.

La détermination des terrains est rendue fort difficile par l'absence presque complète de fossiles.

Les couches principales, dont nous avons déjà rencontré quelques-unes dans la coupe donnée pour la Roumanie, seraient :

Tertiaire	Néogène.	Argile salifère. (salzthon gruppe) . . . (*pétrole*).	
	Eocène	Grès de Magura et Kliwa. (*stériles*) (couches à nummulites)	
		Schistes à ménilite. . . . . (*pétrole*).	
		Grès de Libusza . . (*pétrole*).	Grès carpathiques.
Néocomien.		Grès calcaires à hiéroglyphes et fucoïdes. . . . (*stériles*).	
		Couches de Ropianka (?) ou grès carpathiques inférieurs. (*pétrole*).	



Delimitation des regions petrolifères de la Galicie orientale et occidentale.

Carte des gisements du pétrole de la Galicie Orientale.

——— *Limites de la région pétrolifère.*

Les noms écrits en { *Italique (Zabie)* *sont aux des points où le pétrole a été rencontré.*
Romain (Starunia) . . *des exploitations de pétrole*
Capitale (SOLOTWINA) . . *des villes les plus importantes.*

Fig. 20.

Donnons quelques détails sur ces diverses assises :

Argile salifère (*Salzthongruppe*). — Au pied des Carpathes, existe une bande de néogène salifère renfermant principalement le *pétrole* et l'*ozokérite*. On y trouve le fameux gisement de Boryslaw. C'est le salzthongruppe.

Grès de Magura et de Kliwa. — Ils constituent la partie supérieure de l'éocène. Ils sont très développés le long de la frontière hongroise. Ils forment un grès à gros grains, presque un conglomérat (grès de Magura). Au Nord, le grain est plus fin (grès de Kliwa).

Schistes à ménilite. — Etage peu puissant, mais très net. C'est, d'après les déterminations les plus récentes, l'éocène moyen. Ce sont surtout des schistes bruns avec enduit intérieur d'alun et de gypse et lits de silex en rognons. Vers le Nord, le silex est remplacé par de la sphérosidérite en lamelles ou rognons.

La partie inférieure de l'étage est souvent constituée par des marnes bleu foncé avec gastropodes et poissons.

Ces schistes remplissent les plissements synclinaux des grès carpathiques. Ils représentent les restes d'une formation générale de toute la région que les eaux ont enlevée par places.

Grès carpathiques supérieurs ou *grès de Libusza.* — Ce niveau, qui forme la base du terrain tertiaire, est constitué surtout, à la partie supérieure, par des grès intercalés de schistes. Ces grès sont parfois crevassés, comme dans la Galicie occidentale, et contiennent alors du pétrole (grès de Libusza).

Ils sont quelquefois entièrement remplacés par des schistes micacés à veines de calcite et parsemés d'hiéroglyphes comme les couches de Ropianka dont nous parlerons plus loin.

La base de l'étage est généralement constituée par des argiles bigarrées rouges ou bleues avec des lits marneux ou sableux et contient souvent une couche de grès à nummulites.

Grès carpathiques crétacés. — Ils se présentent avec une grande puissance dans la Galicie orientale.

Ils sont constitués en bancs massifs de couleur claire se délitant facilement.

Les éboulis s'amassent au pied des gros blocs en donnant un aspect ruiniforme à toute la contrée.

Plus au Sud, ces grès se chargent de mica.

On trouve quelquefois, à leur sommet, des bandes de schistes avec ammonites de la craie supérieure.

Couches de Ropianka. — Elles forment la base du système carpathique. A la partie supérieure, un puissant calcaire marneux, jaune ou gris, avec fucoïdes, permet de les rattacher au néocomien.

Le gros de l'étage est constitué par un grès micacé et ondulé à veines de calcite alternant avec des argiles et des schistes à hiéroglyphes.

Gisement du pétrole. — Les grès calcaires à fucoïdes et les grès de Magura et de Kliwa se sont toujours montrés stériles.

Les couches de Ropianka, les grès de Libusza, les schistes à ménilite et l'argile salifère miocène sont, au contraire, pétrolifères.

Le pétrole se rassemble surtout, comme dans les autres régions étudiées précédemment par nous, dans les grès tendres intercalés entre les schistes, ainsi dans les *grès inférieurs de Ropianka*, rarement dans les *marnes à fucoïdes*. Les grès dits *de Libusza* sont pétrolifères dans la région de Libusza surtout; l'étage des *schistes à ménilite* dans les grès gris; enfin l'*argile miocène* dans les parties gréseuses.

On voit donc que, ici aussi, le pétrole ne se trouve pas localisé dans un terrain donné dont il serait contemporain, mais qu'il s'est élevé par des fractures à travers les divers terrains représentés dans la région et répandu dans les strates perméables, en particulier dans des niveaux inférieurs au Salzthongruppe.

En Galicie, comme dans les autres régions, c'est dans le voisinage des crêtes des *plis anticlinaux*, où le pétrole, emmagasiné sous pression, tend à s'élever et où, en outre, ont dû se développer les efforts maxima de tension et de traction, que se trouvent les régions de fractures productives. Ces fractures sont riches en réservoirs d'huile.

Les plis synclinaux sont moins favorables en raison de la compression qui les accompagne.

Ainsi les schistes à ménilite, fond de synclinaux, et d'ailleurs assez imperméables, donnent peu d'émanations.

Ces gisements de pétrole de Galicie sont intéressants par les associations de minéraux qu'ils présentent.

Outre le sel gemme très fréquent au voisinage du pétrole, on rencontre le gypse, le soufre natif et plusieurs sulfures : blende, pyrite, galène. A Boryslaw, l'ozokérite même est imprégnée de sel et de gypse.

L'exemple le plus remarquable de particularités de ce genre est *Truskawiec*, près de Boryslaw, où l'on connaît, au voisinage de sources minérales fréquentées, un gisement de soufre natif et de sulfures (galène argentifère, blende, calamine), mélangés de gypse, d'ozokérite et de pétrole. Ce gisement est assez considérable pour avoir donné lieu à des exploitations de soufre, de plomb et de zinc.

On peut également signaler la présence de l'iode et du brome dans les terrains de Boryslaw; enfin il y a lieu de citer le gisement de pétrole de *Roczk* situé dans une roche trachytique.

Nous verrons d'ailleurs, lorsque nous étudierons l'ozokérite de Galicie, c'est-à-dire en réalité le pétrole solide, que son mode de gisement essentiellement filonien et la rareté, dans les couches inférieures, de fossiles ayant pu donner par décomposition des hydrocarbures est un argument à invoquer contre l'origine organique du pétrole.

Exploitation du pétrole. — Cette industrie a pris, dans ces dernières années, aux environs de Dukla et Sanok et à Sloboda, un assez grand développement; la production est aujourd'hui, pour Sloboda, de 2 000 barils par jour; mais elle a été longtemps arrêtée par la concurrence des pétroles russes, en raison d'un certain nombre de causes d'infériorité qui ne tendent qu'en partie à disparaître.

Ces causes d'infériorité sont surtout le débit très faible des puits (de 50 à 100 kilogrammes d'huile brute par jour), le manque de connaissances techniques et la division extrême des exploitations.

Cette division elle-même tient à la législation qui attribue le pétrole au propriétaire du sol. Les puits se multiplient ainsi beaucoup sans aucune mesure d'ensemble. Dans les grands domaines,

les prétentions exorbitantes des propriétaires empêchent tout développement.

En outre, les communications sont défectueuses ; l'entente manque pour établir des tuyaux comme aux États-Unis ; la pénurie des capitaux force tous ces petits exploitants à emprunter à des taux usuraires, etc.

Pour remédier à tous ces défauts, on a essayé dernièrement d'un système protectionniste intense.

Mode d'exploitation. — On emploie soit les *tiges en fer* et le *trépan à chute libre*, soit les *tiges en bois* et le *trépan primitif* (mode canadien).

Les trous de sonde sont réduits à $0^m,175$ de diamètre : ce qui augmente la rapidité, mais ôte la sécurité.

Dans les terrains tourmentés, le premier système est préférable avec un diamètre de $0^m,60$ qui permette les réparations.

Le tubage se fait avec des tuyaux de tôle percés de trous pour l'écoulement de l'huile.

Le pétrole ne jaillit jamais; on épuise ainsi par des pompes chaque nappe successive. Ce pétrole est mélangé d'eau, il est décanté dans des bassins d'où on le retire pour le mettre en barils de 300 kilogrammes. Le rendement augmente et la densité diminue, par une loi qui semble à peu près générale, avec la profondeur.

La distillation donne, au-dessus de 40°, de l'*éther de pétrole* de densité 0,65; à 120°, de l'essence de 0,70 à 0,74; après 200°, de l'huile lampante et, à 350°, de l'huile lourde. Le pétrole contient 50 p. 100 d'huile lampante.

Statistique pour l'année 1883 :

District de Gorlice Sander	15 raffineries
Sanok	6 —
Drohobyer Sambor	18 —
Kolomea (Sloboda)	12 —
TOTAL	51 raffineries.

Il est sorti, en 1883, de ces raffineries 185 852 quintaux d'huile raffinée (soit 18 585 tonnes) à 50 francs le quintal ; la valeur créée est donc de 9 292 500.

Cette production se répartit ainsi :

Gorlice	4 556 tonnes	soit 24	p. 100
Neu Sander	1 677 —	— 9	—
Drohobier Sambor.	5 364 —	— 29	—
Kolomea (Sloboda).	6 556 —	— 35	—
Les autres.	433 —	— 3	—
	18 585 tonnes.		

Là-dessus,

Les huiles de densité . . .	< 0,87	entrent pour	15 269 tonnes :	soit 82	p. 100
— de densité . . .	> 0,87	—	2 926 —	15	—
— brutes.			380 —	2	—
— de densité . . .	< 0,77	—	10		

Nous ajouterons seulement quelques renseignements statistiques sur la région de Sloboda (Kolomea).

D'après la loi autrichienne, nous avons vu que le pétrole appartenait au propriétaire du sol. La location du terrain se fait généralement moyennant 50 p. 100 du produit brut.

Le prix du pétrole étant une quantité variable P et le rendement moyen d'un puits pendant les deux années qu'il dure étant de 25 à 30 barils par jour, soit, pour deux ans, 15 000 à 20 000 barils, le produit brut peut être évalué de 15 000 P à 20 000 P.

La moitié qui reste à l'exploitant est donc de 7 500 P à 10 000 P.

Le prix de revient, d'autre part, peut s'évaluer comme suit :

Premier établissement	forage de 300 mètres à 112 francs le mètre	32 600
	baraque d'abri	1 200
	pompe.	2 000
	machine à vapeur.	4 000
	Divers.	4 000
		44 800
	Entretien	5 000
	Extraction.	21 000
	Frais généraux.	10 000
		80 800

Bibliographie du pétrole de Galicie.

1859. Mémoire de M. Fœtterlé. (*Jahrbuch der K. K. geol. Reichsanst.*)
1862. Exploitation du pétrole dans les Carpathes. (*Cuyper*, t. XXII, p. 121.)

5. Hochstetter. — Uber das vorkommen von Erdol und Erdwachs in
:cer Kreise in West-Galizien. (*Jahrbuch der K. K. geol. Reichsanst.*)
5. Posepny. — (*Jahrbuch der K. K. geol. Reichsanst.*)
5. Jicinsky. — (*Berg und huttenwesen Zeitung*, n°s 36-37.)
5. Posepny. — — — — — 39-41.
6. Cotta. — (*Oesterreichische Revue.*)
7. Ellenberger. — (*J. KK. g. R.* Wien.)
9. K.-M. Paul. — (*J. KK. g. R.* Wien.)
8. Noth. — Die Erdol gruben in Bobrka bei Dukla in Mittel Galizien.
KK. *g. R.*, t. XVIII, p. 311.)
368. Heurteau. — (*Ann. d. M.*, t. XIX, p. 197.)
2. Franck. — Petroleum gewinnung in Galizien und Amerika (*Berg. und*
n Zeitung, 1872, p. 351; *Dingler*, t. CCVI, 237; *Polytech. Centralblatt.*)
2. Gintl. — Galizisches Petroleum und Osokerit auf der Wiener Wel-
:llung. (*Allgem. Illust. Wellaustellung*, 1872, t. I, p. 236.)
4. Fauck. — Erdwachs und Petroleum Gruben zu Boryslaw in Gali-
(*B. u. H. Z.*, 1874, p. 446; *Polytech. Centralblatt*, 1875, p. 65; *W. B.*,
p. 975.)
4. Windakiewicz. — Petroleum Gewinnung in Galizien. (*Oest. z. f. B. u.*
. XXII, p. 350; *Chemisches Centralblatt*, 1875, p. 16; *W. B.*, 1874,
5.)
4. Windakiewicz. — Das Erdöl und Erdwachs in Galizien. (*B. u. H. Z.*,
IV; *Pr. I. Civ. Eng. Lond.*, t. XLII, p. 343.)
5. Windakiewicz. — Wichtigkeit des Vorkommen von Bituminösen
fer in Galizien. (*Oest. Z. f. B. u. H.*, t. XXII, p. 196; *Chem. Centralblatt*,
p. 832; *W. B.*, 1875, p. 1055.)
8. Stippelmann. — Die Petroleum Industrie Oesterreich. Deutchstlands.
sick, Knapp.)
8. Sauerlandt. — Uber das specifische Gewicht des Paraffins aus gali-
:m Ozokerit von 65°-82°. Schmelzpunkt. (*Dingler*, t. CCXXXI, 383; *Hübner*
378, p. 81; *W. B.*, 1878, p. 1192; 1879, p. 1169.)
9. Stippelmann. — Die Petroleum Industrie Oesterreich Deutschlands.
:ig, 1879.)
9. Noth (Julius). — Uber das Vorkommen von Petroleum in Galizien.
ers Z., 1879, p. 63; *W. B.*, 1879, p. 1192.)
Cf. *Oesteneichische Zeitschrift für B. u. H.*, n° 2, 1879; n° 24, 1881, et
1882.)
1. Szajnocka. — Das Petroleum Vorkommen von Sloboda Remgarska in
Galizien. (*Verhandlungen der K. K. geol. Reichsanstalt*, mars-mai 1881,
2. Vienne, 1881.)
Bulletin des Mines, 5° année, n° 164.
384. Waltner et Dunikowski. — Das Petroleum Gebiet der galizischen
:arpathen. (*Geol. Reichs. d'Autriche*, p. 20.)
5. Syroczynski. — Revue universelle de Liège.
5. Noth. — Uber die bisher erzielten Resultate und die Aussichten
etroleum. Schürfungen in Ungarn. (Budapest, 1885.)
8. — L'ozokérite, Przibilla et Syroczynski. (*Cuyper*, 1888, t. IV, p. 17.)
7. — Uber die Bergöl Gewinnung in Oesterreich. (*Dingler*, t. CLXXXV,
4; *Berggeist.*, 1867, n° 53.)

Sur les pétroles de la Bukowine.

1880. WALTER (BRUNO). — Die Chancen einer Erdölgewinnung in der Bukowina. (*Jahrbuch der K. K. geolog. R.*, t. XXX, p. 115.)

Sur les pétroles de Hongrie.

1884. C. VON JOHN. — Untersuchung Zweier *ungarischer* Rohpetroleum vorkommen. (*Verhandlungen der K. K. geologische Reichsanstalt*, n°s 2-6, p. 53. Vienne, 1884.)

PÉTROLES DE CROATIE

Nous ne dirons que quelques mots des pétroles de Croatie, comme complément à ce chapitre consacré aux pétroles autrichiens.

Les gisements se trouvent aux environs d'Agram ; particulièrement autour de Kopreinitz. Les conditions géologiques rappellent en petit la Roumanie et la Galicie. Le sol est également constitué de couches perméables miocènes que couronne un système puissant de marnes et d'argiles pliocènes un peu plus jeune que les marnes à congéries. Le jurassique commence seulement au pied méridional du Kalnik formé lui-même de micaschistes et schistes anciens. Les couches tertiaires comprises entre la Save et la Drave sont le prolongement méridional de la grande formation tertiaire dont le centre est occupé par la ville de Vienne. Elles ont subi des mouvements de dislocation considérables qui ont pu amener du pétrole avec quelque abondance. Mais les niveauxpermé ables du miocène étant presque partout recouverts à la surface par un épais manteau imperméable de couches à congéries, les suintements de pétrole à la surface sont très restreints et localisés dans quelques petites vallées qui découpent les collines situées au Sud de Ludbreg.

Nous ne croyons pas, quoiqu'on ait entrepris de ce côté des recherches il y a quelques années, qu'aucune exploitation importante y ait été installée.

Bibliographie.

1887. NOTH. — Bergtheer und Petroleum Vorkommen in Kroatien, Slavonien und im Sud westlichen ingarn (Foldtani Koszlony. Budapest, 1887), t. VII, p. 348.

PÉTROLES D'ITALIE

Le versant Nord-Est des Apennins contient, dans la province de Parme, des ressources en hydrocarbures d'un certain intérêt géologique. On retrouve également du pétrole près du lac Fucin, dans la campagne de Rome. Nous étudierons par la même occasion quelques gisements hydrocarburés asphaltiques d'Italie, notamment ceux des Abbruzzes et de l'Amaseno, pour ne pas rompre l'unité géographique du sujet.

PROVINCE DE PARME

Les gîtes pétrolifères de la province de Parme forment une longue bande de près de 200 kilomètres de long sur le Nord-Est des Apennins, depuis Barlasco à l'Ouest de Plaisance jusqu'à Pazzano à l'Est de Modène.

La région est formée d'un triple étage de terrasses, parallèles dans leur ensemble à la mer ; la plus haute, dont les points saillants se trouvent à 2,000 mètres et dont l'altitude moyenne est de 1,200 mètres, formant la crête centrale des Apennins (Voir fig. 21, p. 132). Cette terrasse supérieure est constituée principalement par du terrain éocène. La seconde (altitude moyenne, 800 mètres) est miocène. La troisième (altitude, 400 mètres) pliocène.

La zone pétrolifère est à cheval sur les deux bandes inférieures.

Nous donnons ci-joint quelques coupes du tertiaire de l'Italie centrale, d'après les diverses publications de MM. Taramelli, Döderlein et del Prato. Ces coupes sont remarquablement concordantes dans leur ensemble. Elles nous montrent toutes, en effet, l'existence de trois grandes formations qui surpassent les autres en importance comme en régularité : les argiles bleu turquoise qui couronnent le pliocène, les marnes sableuses à oursins avec lentilles calcaires intercalées du miocène supérieur et moyen et les conglomérats avec mollasses ophiolitiques de la base du miocène et de l'éocène supérieur.

COUPE GÉNÉRALE DE

TERRAINS		DÉSIGNATION ITALIENNE DES ÉTAGES	COUPE GÉNÉRALE DES TERRAINS dans L'ITALIE CENTRALE (Taramelli.)	TERRAINS des ENVIRONS DE PAVIE (Taramelli.)	CA… Pr…
Pliocène.	Supérieur.	Astiano. (Astien).	Sables alternant avec des argiles. Argiles marines et marnes bleues avec madrépores (marnes subapennines de d'Orbigny).	Marnes sableuses et argiles marines.	A… nes.
	Moyen.	Tabiano Piacentino.	Argiles sableuses, mollasses, grès et conglomérats fossilifères	Argiles sableuses et marnes.	G… gles STP
	Inf.	Messiano. (Messinien).	Mollasses, grès à plicatula, calcaires tufacés, marnes feuilletées, gypse et soufre natif.	Mollasse, grès à phyllites, calcaires tufacés, marnes foliacées, gypse et soufre.	Mar… rin… ave…
Miocène.	Supérieur.	Tortoniano. (Tortonien).	Marnes à pleurotomaria, et calcaire à Lucines. *Première zone pétrolifère.* (Épaisseur jusqu'à 1 200m).	. . . . .	C… op… m…
	Moyen.	Helvetiano. (Helvétien).	Calcaire gréseux et mollasses à Pecten denudatum, 100m.	. . . . .	e… i
		Langhiano. (Langhien ou Mayencien).	Marnes sableuses à ptéropodes et mollasses avec conglomérats ophiolitiques (dépôt de haute mer). *Deuxième apparition du pétrole.* Oscillations nombreuses du sol, 1 500m.	. . . . .	
	Inférr.	Bormighiano (Aquitanien et Tongrien).	Conglomérats et mollasses lignitifères, marnes schisteuses et grès micacés.	. . . . .	.
Eocène.		Modeniano.	Gabstro (argiles écailleuses) et calcaires à fucoïdes.		
			Albarese avec zones serpentineuses, serpentine, conglomérats serpentineux et granitiques.	. . . . .	. .
			Gabbro rosso (minerais de cuivre). Zone grise schisteuse, avec bancs nummulitiques et sources minérales.	. . . . .	. .

DES APENNINS

LE	MODÈNE ET REGGIO (Döderlein.)	ITALIE CENTRALE (Del Prato.)	
		(Indications générales.)	Détails et localités
.	Sables roux plus ou moins agglutinés avec quelques couches d'argiles et de conglomérats.	Sables roux.	
s.	Marnes bleu turquoise plus ou moins calcaires, avec lits de sables et de calcaire siliceux. Gastéropodes nombreux.	Argiles marines bleu turquoise.	Rio Fontana.
l'a- os- ıx. .	Marnes bleues à ficula nudata. Conglomérats et calcaires.	Marnes compactes fossilifères.	Marnes compactes fossilifères et argiles avec galets.
		Grès, sables et argiles à lignites.	Argiles bleues sableuses.
		Marnes fossilifères avec interposition de galets.	Marnes fossilifères, grès et argiles, marnes verdâtres. Calcaires, sables pétrolifères.
ıes et	. . . . .	Sables et grès mollassiques avec galets granitiques.	Conglomérats mollassiques, argiles sableuses.
ɔn- ɔse ıes de .	. . . . .	Marnes blanches à congéries avec gypse intercalé.	Marnes d'Euza et de Civizzano, du Castello di Torre Chiava, Neviano di Rossi Fornovo, Ghiaja et Salso Maggiore. Couches de Gypse intercalées (Bergame et Salso Maggiore). Bancs de sable intercalés avec ostrea crassissima (Rio del Nossi et Stirane).
		Mollasses grises à galets.	A la base, mollasses (collines de Miano).
.	. . . . .	Grès à Lucines.	Grès recoupant le Taro à Belfort.
.	. . . . .	Mollasses ophiolitiques (serpentineuses).	
.	. . . . .	Conglomérats à éléments granitiques. Calcaires avec sables fins.	Conglomérats variables, granitiques, d'origine inconnue, visibles à Fornovo, entre le Taro et la Braganza (sous les calcaires fucoïdes).
.	. . . . .	Calcaire albarese ou marneux. Argile, jaspe, serpentine en couches et conglomerats.	
.	. . . . .	Grès macignano formant les crêtes centrales des Apennins.	

Ces coupes ne fournissent pas d'indications sur les épaisseurs de toutes les formations et de fait il serait assez difficile de formuler des chiffres précis et détaillés, ces épaisseurs étant variables d'une localité à l'autre. Cependant on peut estimer

CARTE GÉOLOGIQUE DE LA ZÔNE PÉTROLIFÈRE DE L'EMILIE

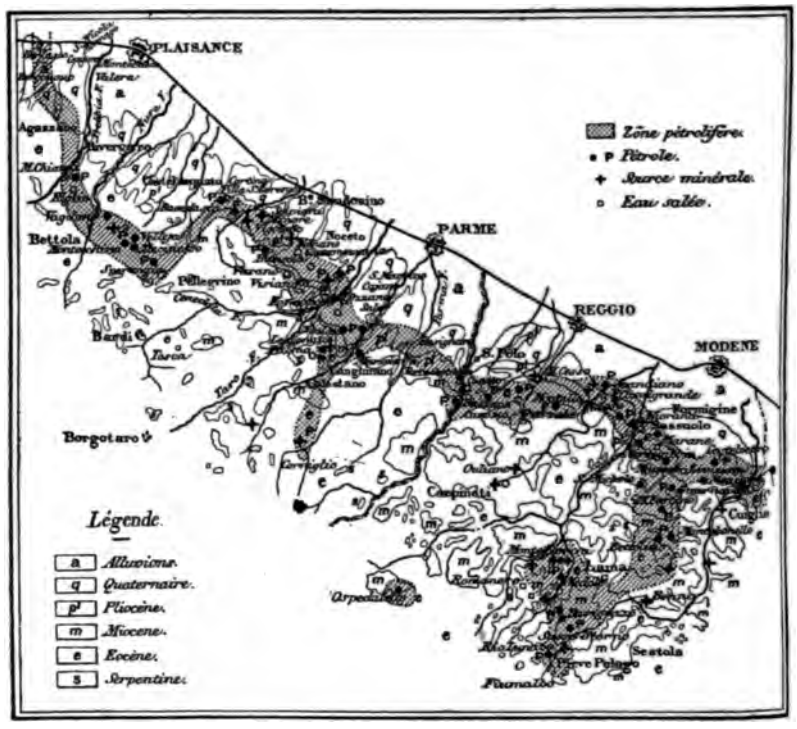


Fig. 21.

approximativement la puissance des argiles bleu turquoise, qui sont les marnes subapennines de d'Orbigny, à 150 ou 200 mètres et celle des marnes avec calcaires à oursins à une centaine de mètres. Ce sont deux des termes importants de la série.

Accidents topographiques et fractures. — Les couches que nous venons de décrire ont été, postérieurement à leur dépôt, soumises à des dislocations importantes et quelques-unes d'entre elles sont traversées par des serpentines qui paraissent être arri-

s à la fin de la période éocène, entraînant la formation des
:s de cuivre situés sur l'autre versant des Apennins.

es directions principales de fractures dans la région pétro-
re sont surtout 120° (direction des Apennins) et 30°, direction
pendiculaire à la première, que suivent les grands cours d'eau,
amment le Taro. On constate, en outre, des fractures de
il à 20 et 75°.

e pétrole se trouve à l'état d'imprégnation dans les divers
aux suivants :

' Sables minces intercalés dans le pliocène supérieur (niveau
entif faible) ;

° Pliocène moyen et inférieur. Couches calcaro-sableuses et
glomérats divers (réservoirs importants) ;

• Miocène supérieur. Couches à congéries (tortonien). Niveau
s importance ;

' Miocène moyen (helvétien). A la base des calcaires gréseux
rès et à Lucina ;

' Conglomérats granitiques, avec lignites ;

' Eocène supérieur. Niveau peu connu et sans doute peu
ortant.

es localités principales où l'on a constaté le pétrole sont :

' *Salso Maggiore*, source saline venant sans doute du mio-
:. Elle est accompagnée de gaz hydrocarburés employés
r l'éclairage de la ville. Elle a été obtenue par un sondage à
mètres exécuté par les maisons Deutsch et Lippmann et ren-
ıe chlorures, bromures et iodures alcalins.

existe là des failles nombreuses, juxtaposant le miocène
érieur et le pliocène supérieur ; notamment celle du torrent
Citronia (nord 87° est). Sur le prolongement de cette faille,
ondage fait par M. Ribighini, en 1884, a donné de l'huile jail-
ınte pendant trois mois; après quoi il s'est épuisé rapidement.

' *Miano*, petit niveau pétrolifère dans les argiles pliocènes.
important.

Ozano. Suintements pétrolifères dans le Taro, sur des affleu-
ents d'argiles bleues pliocènes. Des sondages profonds ont
faits par la maison Deutsch sur le prolongement d'une faille
ortante qu'on constate à Miano.

4° *Neviano dei Rossi.* Pli des argiles bleues dans le voisinage de leur contact avec le miocène. Quelques sondages ont été faits en ces divers points, en 1884, sans donner de résultats industriels.

GISEMENTS HYDROCARBURÉS DES ABBRUZZES

LETTOMANOPELLO ET TELLO[1]

Nous venons d'étudier le versant Nord-Est des Apennins; nous traversons la chaîne, nous constatons que la partie centrale est assez pauvre en pétrole sauf vers *Tocco* à l'Est, près du village de *Lettomanopello.* Dans cette région, le miocène n'existe pas; immédiatement au-dessus du calcaire nummulitique éocène, on trouve les marnes pliocènes et il est arrivé que, dans les dislocations postérieures, le calcaire éocène ait formé une masse résistante contre laquelle sont venues se plisser les marnes plus récentes. Au pied de ces falaises calcaires où l'on trouve le pliocène ondulé, les hydrocarbures imbibent les divers terrains et l'on a des asphaltes et des bitumes. On constate, dans le calcaire horizontal, la présence de fractures verticales où des débris calcaires sont cimentés par du bitume; on peut citer quelques affleurements bitumineux : Val Romano, gîte des Fontaines, plateau des Mornes, gîte de l'Abbé, etc...

A Val Romano, qui paraît le plus important, on a rencontré des traces de travaux romains. Le terrain est coupé par un ravin profond dans lequel on trouve un calcaire friable, tufacé, formé de débris de coquillages ; et, dans ce calcaire, il existe une association constante de bitume, soufre et gypse; la roche donne du bitume par distillation.

Un peu plus loin, à *Pianto dei Monachi,* il existe également une fracture verticale remplie par une brèche de fragments calcaires à ciment bitumineux ; mais le bitume est plus régulièrement réparti dans la masse.

Une petite usine de distillation existe à Lettomanopello; en 1873, on avait songé à organiser, sur ce point, une exploitation

[1] Coll. Ecole des Mines, 1725 et 1789.

importante ; nous ne croyons pas qu'il ait été donné suite à ce projet.

Enfin, si l'on passe sur le versant Sud-Ouest des Apennins, on rencontre dans la province de Rome le gîte d'asphalte de l'*Amaseno* que nous allons décrire de suite, au lieu d'attendre le chapitre réservé aux asphaltes, pour ne pas rompre l'unité des gisements hydrocarburés italiens.

FORMATION ASPHALTIQUE ET BITUMINIFÈRE DE L'AMASENO (PROVINCE DE ROME)

Géographie. — L'Amaseno est un affluent du Liré qui coule du Nord-Est au Sud-Ouest, à 100 kilomètres de Rome.

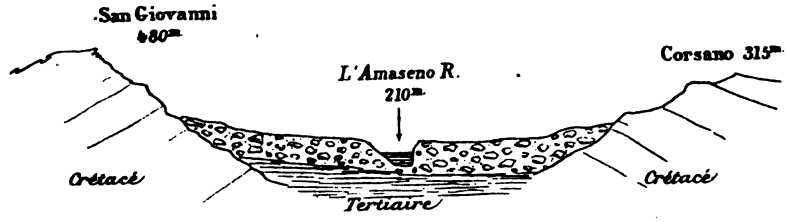


Fig. 22. — Coupe de la région de l'Amaseno.

Géologie. — Le sol de la région (fig. 22) est une formation calcaire de l'époque crétacée supérieure (urgonien et turonien). Le seul terme bien représenté est un calcaire cristallin nettement stratifié. Ce calcaire a été soulevé et cassé par des plissements dont la direction est généralement Est-Ouest : ce qui est aussi la direction des affleurements bitumineux.

En quelques points, sur ce calcaire, reposent en stratification discordante des lambeaux tertiaires de l'époque pliocène. La succession des couches qui composent ce tertiaire est, de bas en haut :

50 mètres de marnes grises formant escarpement dans le lit de l'Amaseno
4 — de conglomérat siliceux (cailloux roulés).
12 — de sables argileux pauvres, dits « *tuffi* » ; passant parfois à un grès siliceux tendre.

Ces divers terrains ont été imprégnés par de puissantes émanations bitumineuses, et chacun a retenu une proportion de bitume variable suivant son état physique et sa perméabilité.

Les gisements se composent d'une série de *cheminées* (fig. 23) traversant le calcaire et les terrains tertiaires, cheminées remplies de brèches calcaires ou d'une argile détritique très riche. Ces

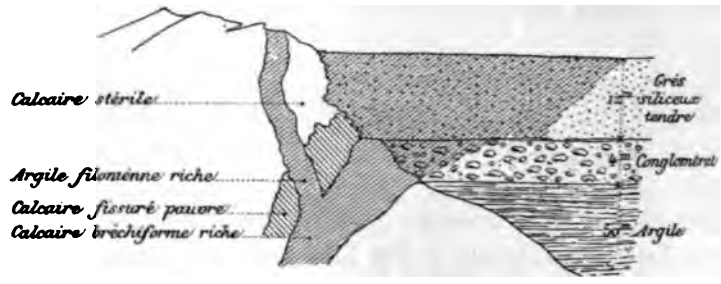


Fig. 23. — Coupe du gîte d'asphalte de l'Amasceno
(Les hachures %%% indiquent les parties bitumineuses.)

sortes de filons s'épanouissent dans les grès tertiaires et donnent naissance à de véritables couches bituminifères.

La teneur des minerais est la suivante :

1° Minerais calcaires.

Brèche de Banco.	26	p. 100	de bitume.
— de Collano	6	—	—

2° Minerais tertiaires.

Argile filonienne de Ceneto	60 à 80	p. 100
Grès bitumineux riche —	40	—
— ordinaire —	20	—
Tuffi — —	6	—

Traitement. — Les minerais calcaires, après broyage, sont passés à la chaudière à feu nu, fondus et coulés en pains d'asphalte. Le pain d'asphalte se vend 50 francs la tonne prise sur place, et, mise sur vagon, 60 francs.

Les minerais tertiaires, encore sans emploi, pourraient être traités par un appareil à sulfure de carbure pour en retirer le bitume qui vaut à Rome 300 francs la tonne. Les résidus comprimés font des cubetti siliceux recherchés pour le pavage.

Bibliographie des pétroles italiens.

* 1868. Coquand. — Asphalte de *Raguse*. (*B. S. G.*, t. XXV, p. 420-430.)

1868. Fairman. — Upon the discovery of springs of oil in Italy. (*Eng.*, t. XXV, p. 243 ; *Mon. Scient.*, 1868, p. 519.)

* 1870. Fouqué et Gorceix. — Recherches sur les sources de gaz inflammables des *Apennins* et des Lagoni de la *Toscane*. (*Ann. des Sciences géol.*, t. II, p. 1.)

1870. Jugler. — Vorkommen von Petroleum in *Parma* und *Modena* (*B. u. H. Z.*, 1870, p. 44 ; *W. B.*, 1870, p. 703.)

1874. Moffat. — On the bituminous Deposits of the valley of *Pescara*. (South Italia.) (*London chemical news*, t. XXX, p. 255.)

— Fuchs. — Notes de voyage inédites.

1877. Bidou. — Gisement des bitumes, pétroles, etc., des provinces de *Chiétri* et *Frosinone* et traitement à Letto Manopello. (In-4°, à Sienne.)

PÉTROLES ET ASPHALTES ALLEMANDS

L'Allemagne produit du pétrole en deux points principaux, dans le Hanovre et en Alsace.

PÉTROLES ET ASPHALTES DU HANOVRE

Dans le voisinage de Hanovre, il existe à Limmer, à Vorwohle, à Ahlen et à Velber des gisements d'asphaltes assez importants accompagnés de sources de pétrole. Ceux de Limmer et de Vorwohle appartiennent aux formations du Jura Blanc, tandis que les derniers se rencontrent dans les terrains de l'époque crétacée et sont peu utilisables à cause de leur faible teneur en bitume.

Les mines de *Limmer* se trouvent au milieu des plaines d'Acker dans un terrain peu mouvementé. Les couches d'asphalte sont peu puissantes et peu étendues à leurs affleurements. La partie supérieure, d'une puissance de $3^{m},50$, est constituée par une roche très pure, riche en ammonites ; elle recouvre une couche d'argile de la même puissance, au-dessous de laquelle existe la couche principale, puissante de 6 à 7 mètres et beaucoup plus riche en bitume.

Ces couches plongent du Nord au Sud sous un angle de 30 à 40°. La richesse en asphalte serait, d'après certains auteurs, plus

grande en profondeur qu'à la surface. Jusqu'à présent, on a observé des variations de 8 à 20 p. 100.

A *Vorwohle,* les couches forment une série de lits à imprégnation variable, d'une puissance totale de 20 mètres. Elles plongent sous un angle de 20° vers la montagne de Hils et leur teneur en bitume est comprise entre 6 et 10 p. 100.

Enfin, à environ 2 kilomètres de Hanovre, des puits d'une vingtaine de mètres de profondeur ont recoupé, au-dessous du calcaire asphaltique, une couche de pétrole liquide.

De même, dans le district d'*Œlheim,* au Nord de la ville de Peine, entre Hanovre et Brunswick, on rencontre du pétrole en relation avec une faille Sud-Ouest-Nord-Est suivie par le ruisseau Schwarzwasser. Ce pétrole imprègne là des grès tertiaires en même temps que des calcaires jurassiques.

Plus à l'Est, dans le *Brunswick,* on retrouve, non loin de la montagne de Hils entre Creiensen et Holzminden et près de Wintjenberg, la suite de ces gisements du Hanovre, sous forme de puissants gisements d'asphalte dans les formations du Jura Blanc, au-dessous des calcaires à plaquettes.

On a aussi observé, dans les formations intermédiaires du Jura et de la craie, des masses de gypse imprégnées de bitume.

Bibliographie.

NARCY, p. 41.

* 1889. PIEDBŒUF. — Gisements pétrolifères de l'Europe Centrale. (*Rev. Univ. de Liège,* t. XIII.)

1890. MANIGLER. — (*Bull. Ind. Min.,* 3e, t. IV., p. 670.)

PÉTROLES, ASPHALTES ET SABLES BITUMINEUX D'ALSACE

Les gîtes bitumineux d'Alsace, étudiés par M. Daubrée en 1849, se trouvent à *Pechelbronn*[1], *Soultz-sous-Forêt*, *Lobsann*, etc.

Dans la région de Pechelbronn, Soultz-sous-Forêt, Lobsann, etc.,

[1] Ou Bechelbronn.

n rencontre, imprégnant le tertiaire, des bitumes de consistance t d'allure diverse. La région bitumineuse a une superficie d'environ 10 à 12 hectares. A Soultz-sous-Forêt, Pechelbronn, Hatten, chwabwiller, Oberkützhausen, Kinderloch, etc., le bitume est lus ou moins fluide et, depuis 1883, des sondages ont rencontré u pétrole jaillissant ; le bitume est, au contraire, solide à Lamertsloch, Lobsann, Walkmühle, Bulenbach, Drachenbronn et ockmühle.

Le tertiaire, qui présente son plus grand développement aux nvirons de Lobsann, peut être divisé en trois groupes : à la base les marnes avec grès bitumineux (Pechelbronn, Lobsann, etc.); u-dessus, des calcaires d'eau douce avec lignites (Lobsann) et, u sommet, des marnes à coquilles marines.

Le bitume se rencontre dans les trois groupes à l'état d'imprégnations lenticulaires postérieures au dépôt des couches et en elation, d'après M. Daubrée, avec une série de failles parallèles la grande faille terminale du grès des Vosges, ayant également onné passage à des épanchements de fer spathique, baryte sulatée, etc.

On trouve, comme cela arrive fréquemment au voisinage du étrole, des dépôts salins alimentant des sources chlorurées et romurées.

1° Le groupe inférieur a été reconnu à Lobsann sur 60 mètres l'épaisseur, à Pechelbronn sur 110. Les marnes y sont stériles, nais les grès sont fréquemment bitumineux. C'est ainsi qu'à echelbronn les amas de sables bitumineux, longtemps exploités ar puits et galeries, forment, au milieu des sables stériles, des eines dont la puissance, ordinairement de $0^m,80$ à 2 mètres, atteint xceptionnellement 4 mètres et dont la longueur varie de 30 à 0 mètres. La pyrite de fer accompagne fréquemment le bitume, uelquefois en très fines particules, souvent en plaquettes, en ognons, en tubes creux, etc. Les veines bitumineuses dégagent vec une certaine abondance du protocarbure d'hydrogène.

2° L'étage calcaire qui a 5 à 9 mètres de puissance à Lobsann enferme quelques couches de lignite riches en gouttes de succin. es asphaltes y forment 3 couches, dont la puissance varie de 1 mètre $2^m,50$, alternant avec un calcaire gris clair à odeur bitumineuse ;

on rencontre, à leur voisinage, des pyrites, du sulfate de chaux et des marnes siliceuses grises ou rosées, sonores et fort dures.

3° Enfin les marnes qui ont 20 à 25 mètres de puissance sont riches en rognons cristallins de pyrite et en nids de gypse. On y trouve beaucoup de coquilles marines, telles que spatangues, cérites, pectens et vénéricardes.

C'est, on le sait, sur ces bitumes qu'ont porté autrefois les travaux de Boussingault et, plus récemment, ceux de MM. Lebel et Müntz exposés plus loin [1].

Les procédés industriels en usage dans le bassin de Soultz avaient jadis pour but tant la fabrication d'un mastic d'asphalte obtenu en mélangeant le calcaire de Lobsann avec le bitume extrait des sables, que le traitement de ce même bitume pour huiles d'éclairage et de graissage.

On allait alors chercher souterrainement le sable imprégné à 8 ou 10 p. 100 de pétrole pour en extraire l'huile par un lavage à l'eau chaude.

En 1883, le propriétaire de la mine de Pechelbronn, M. Lebel, a eu l'idée de faire des sondages qui ont rencontré le pétrole jaillissant.

Aujourd'hui cette industrie du pétrole s'est développée en Alsace et est devenue très prospère. Certains puits donnent jusqu'à 1 000 litres par jour.

Bibliographie des hydrocarbures allemands.

* 1850. Daubrée. — Mémoire sur le gisement du bitume, du lignite et du sel dans le terrain tertiaire aux environs de Pechelbronn et de Lobsann.

1871. Le Bel. — Sur les pétroles du Bas-Rhin. (C. R., t. LXXIII, p. 499; *Mon. Scient.*, 1871, p. 655; *Bull. Soc. Chim.*, t. XVIII, p. 164; *Wagners berichte*, 1871, p. 859.)

1874. Fries. — Vorkommen von Petroleum in der Provinz *Hannover*. (*Poly. Zeit.*, 1874, n° 22; *Berg. und H. Z.*, 1874, p. 247; *Wagners berichte*, 1874, p. 977.)

1876. *Editorial*. — Petroleum in der *Lüneburger* Haide. (*Arch. der pharmacie*, t. CCIX, p. 461; cf. *Ann. des mines*, 7e série, t. XX, p. 563.)

1876. Grotowsky (L.). — Der derzeitige Stand der Paraffin und Mineral oil

[1] Page 159.

ewinnung in der provinz *Sachsen*. (*Zeit. f. Berg. u. Hütten u. Salinen Wesen*, XXIV; p. 351 ; *Proceedings of the institution of civil Engineers*, t. XLIX, p. 355; *Vagners berichts*, 1877, p. 1038.)

1879. L. Favre. — Gisements de bitume de *Lobsann* et de *Pechelbronn*. *Bull. de la Soc. des Sc. natur.*, t. XI, p. 122. Neufchâtel, 1879.)

1880. Von Dücker. — Petroleum und Asphalt in *Deutschland*. (In-8°, 2 pages. Budeburg, 1880.)

1880. Ducker. — Ueber Asphalt in Westfalien. (*Verhandlungen des Naturistorichen Vereines*, 4e série, t. VII, n° 2, Bonn, 1880.)

188 . Ch. Grad. — Exploitation du pétrole à *Pechelbronn* en Alsace. (*La lature*, 18e année, p. 171.)

1886. Le Bel. — Notice sur les gisements de pétrole de *Pechelbronn*. *Bull. Soc. hist. nat. de Colmar*, année 1885, p. 445. Colmar, 1886.)

1889. Narcy (*Bull. Ecoles des Mines.*, p. 43.)

* 1890. Manigler. — (*Bull. Ind. Min.*, 3e, t. IV., p. 670.)

PÉTROLES FRANÇAIS

Pour terminer ce qui concerne les pétroles, nous dirons seulement quelques mots sur la possibilité de trouver des pétroles rançais.

La France renferme, comme nous le verrons, des gisements ssez importants d'hydrocarbures incorporés dans des roches : oit de schistes bitumineux, dont la distillation produit une huile inérale analogue au pétrole; soit de calcaires asphaltiques ou de ables bitumineux ; on y trouve même du bitume montant par es fissures en Auvergne; mais on n'y connaît pas de pétrole quide ou gazeux exploitable. En un point pourtant, à quatre eues de Grenoble, auprès du village de Saint-Barthélemy, on a gnalé[1] une *fontaine ardente* où se dégage un gaz naturel inflamable qu'on n'a pas utilisé. Quelques ingénieurs avaient cru ouvoir en conclure que le pétrole liquide se trouvait là en rofondeur. En réalité, dans les sondages d'Amérique et du Caue, c'est plutôt la superposition inverse que l'on constate : en ensylvanie, plus on s'enfonce, plus le pétrole devient léger et est le troisième niveau, le niveau inférieur, qui donne la majeure rtie des gaz naturels; de même, au Caucase, c'est la zone infé-

[1] *C. R.*, 24 novembre 1879.

rieure qui produit surtout l'huile lampante. Cela tient principalement à ce qu'au voisinage de la surface, les gaz qui font jaillir le pétrole et l'allègent ont eu plus de facilités pour s'échapper par des fissures. En outre, si l'on admet que le pétrole monte par des fractures du sol pour se répandre dans les courbes perméables qu'il rencontre, cette densité croissante de bas en haut peut s'expliquer par l'éloignement de plus en plus grand du point d'origine et l'altération de plus en plus profonde.

Comme autres gisements de pétroles français, on doit citer le tertiaire de Gabian (Hérault), qui a attiré un moment l'attention.

En Auvergne, où il existe des asphaltes exploités avec quelque activité, on annonce de temps à autre le projet de rechercher l'huile par un sondage sans qu'il ait été obtenu jusqu'ici aucun résultat.

Pour avoir chance de rencontrer une masse de pétrole importante, il faut, d'une façon générale, le voisinage d'une chaîne de montagnes plissée, ayant donné lieu à des fractures importantes, et, en même temps, l'existence de nappes perméables (sables ou grès) suffisamment régulières et continues en profondeur. Les deux versants du Jura, le versant français des Alpes et l'Atlas algérien réalisent, jusqu'à un certain point, la première de ces conditions ; mais les terrains qui les bordent sont, en général, surtout argileux ou calcaires, en sorte que les imprégnations bitumineuses qu'on y rencontre en effet assez abondamment, ont plutôt formé des asphaltes que des pétroles. Au voisinage de l'Auvergne, l'arkose de la base du tertiaire et les sables intercalés à diverses hauteurs au milieu des marnes oligocènes pourraient présenter un niveau assez favorable, mais qui aurait toujours le défaut d'être extrêmement irrégulier.

Bibliographie des pétroles français.

1872. — Thoré. — Présence du pétrole dans l'eau de Saint-Bois (Basses-Pyrénées). (*L'Année scientif. et industr.*, 1872, p. 251.)

1872. Pétrole de Gabian. (Brochures financières diverses.)

PÉTROLES D'ASIE

Il nous reste, pour terminer ce qui est relatif aux gisements pétrolifères, à mentionner les pétroles situés en Asie, particulièrement dans l'Inde, la Birmanie et le Japon, et qui commencent à avoir une production assez notable (10 000 tonnes en Birmanie, 6 000 tonnes au Japon).

PÉTROLES DE L'INDE

Dans le *Makum*, des sondages entrepris en 1865 ont donné jusqu'à 300 gallons de pétrole par jour. L'huile avait un poids spécifique de 0,971. Elle semblait peu propre pour l'éclairage.

Dans le *Burmah* supérieur, à Yenan Gyoung (lat. 20° 18, long. 95°), il y a un grand nombre de sources de pétrole. On rencontre l'huile entre 80 et 110 mètres. On parle de 200 sources dont quelques-unes donnent 250 gallons par jour. La production, en 1873, a été de 96 000 barils.

Dans le *Burmah*, l'exploitation du pétrole est pratiquée depuis très longtemps par les indigènes à Cheduba, Ramree, etc. En 1873, une compagnie anglaise fit des recherches qui ne paraissent pas avoir abouti.

En remontant l'Irawaddy, on rencontre les *Kingswells* au nombre de 800 sources exploitées depuis des siècles, mais un peu délaissées depuis l'introduction dans le pays des pétroles d'Amérique et du Caucase.

Bibliographie.

1867. Verchère. — *Punjab* oil. (*Journal of the Asiatic. Soc. of Bengal*, 1867, 3e part., n° 1, p. 13.)

1869. Fenner. — Report on borings for petroleum (*Proceeding of the government of the* Punjab. July, 1869, p. 2-6.)

1870. Baumhauer. — Recherches sur l'huile du pétrole (les *Indes*, l'*Orient*). (*Mon. Scient.*, 1870, p. 53 ; *W. B.* 1870, p. 703 ; *Arch. Néerland.*, t. IV, 299, p. 703.)

1870. Theobald. — *Burmah* oil Springs. (*Records of the geol. survey of India*, 1870, t. III, part. 3, p. 72-73.)

1870. Wynne. — Futtijung oil spring *Punjab*. (*Record of the geolog. survey of India*, 1870, t. III, part. 3, p. 73-74.)

1871. Lyman. — Reports on the *Punjab* oil lands. (*Government Press Lahore*, 1871, in-fol., p. 1-46, and I-III). (11 planches.)

1872. Lyman. — Topography of the *Punjab* oil Region. (*The Amer. Philos. Soc.*)

1873. Lyman. — Topogr. of the *Punjab* oil region. (*Trans. of the Philadelphie Acad. of natural sc.*, 2e, t. XV, p. 35.)

1878-80. J. Robertson. — The oil and oil-vells of *Burma* (*Transactions of the geological Society of Glascow*, t. VI, p. 226. Glascow, 1878-80.)

1885. Romanis. — Report on the oil-wells and Coal in the *Tagetury* district. (*Records of the geological survey of India*, vol. VIII, p. 149. Calcutta, 1885.)

1888. Crew. — Petroleum, p. 77.

1889. Noetling. — On the oil fields of Twingoung and Berne, *Burma*. (*Records of the geological survey of India*, t. XXII. Calcutta, 1889.)

PÉTROLES DU JAPON

Dans le Japon, on a décrit à Kusodzu [1], à quelques lieues de Wakinomachi, des sources de pétrole connues depuis des siècles. On parle de 178 sources dont la meilleure produirait 19 barils par jour. L'huile est d'un vert foncé et marque 43° Baumé.

Les provinces d'Ugo, Echigo, Shinano, Tootomi ont produit en 1879, 6 000 tonnes de pétrole valant 756 000 francs.

Bibliographie des pétroles du Japon et d'Egypte.

1876. Lyman. — Yesso Rock oils. (*Report of the geol. survey of Yesso.*)

1877. Weil (Fred.). — Travail analytique et industriel fait sur un pétrole d'Egypte. (*Moniteur scientifique* (3), t. VII, p. 295 ; *Wagners berichte*, 1877, p. 1026 ; cf. *Ann. d. M.*, 1886, p. 668.)

1877. Munroe. — Petroleum in Japon. (*N.-Y. Eng. and Mining. Jour.* ; *Eng.*, t. XXIV, p. 502.)

1879. Lyman. — Geolog. survey of Japon. (*Reports of progress for* 1878 and 1879, oil p. 7, 13, 33, 239, 242-261.)

1888. Crew. — Petroleum, p. 82.

[1] *Kusodzu* signifie liquide.

RÉSUMÉ SUR LES PÉTROLES

ORIGINE, MODE DE RECHERCHE, DONNÉES STATISTIQUES

Nous venons de passer en revue les divers gisements de pétrole du monde. Nous rappellerons sommairement quelles conséquences on peut tirer de ces descriptions :

1° Le pétrole se trouve dans presque toute l'échelle des terrains géologiques : de Humboldt en a signalé dans le micaschiste à la Punta de Araya (Venezuela) ; au Canada on hésite entre le cambrien et le silurien ; dans l'Ohio et la Pensylvanie, le terrain encaissant est le dévonien ; au Sud de Pittsburg, l'anthracifère ; à Samara (Russie), le permien ; en Virginie et dans le Connecticut, le trias ; à la fontaine ardente de Grenoble et à Gabian (Hérault) le lias ; au Colorado et dans l'Utah, le crétacé ; au Caucase, en Galicie, Roumanie, Italie, en Perse, dans l'Inde, le Japon, etc., le tertiaire.

2° Dans une région déterminée, les gisements pétrolifères suivent généralement une chaîne de montagnes, de préférence sur la courbure externe de ses plissements et se présentent à peu près indifféremment dans les divers terrains qui viennent affleurer le long de cette chaîne, à la condition qu'ils renferment des niveaux de grès ou sables perméables. Nous rappellerons ce que nous avons dit pour les Alleghany, les Montagnes Rocheuses, les Indes, le Caucase, les Carpathes, les Apennins, etc. Les gisements pétrolifères (et généralement hydrocarburés), se trouvent presque uniquement dans les régions plissées : ce qui force à conclure que le plissement même a dû jouer un rôle dans leur formation.

3° On doit admettre que l'imprégnation des niveaux perméables échelonnés dans l'épaisseur des terrains en un point donné s'est produite postérieurement au dépôt imprégné le plus récent ; il serait en effet fort extraordinaire qu'on eût affaire à une série d'imprégnations contemporaines du dépôt des couches s'étant produites uniquement lorsqu'il se déposait des sables ou grès et point lorsqu'il se déposait des terrains imperméables. Par suite, les

pétroles de Pensylvanie et du Canada ont dû se concentrer, aux points où on les rencontre, postérieurement au carbonifère, au moment du plissement des Alleghany : plissement qui, d'après les observations des géologues américains, a produit des failles de plus de 7 000 mètres[1], tout en donnant à la Pensylvanie et à la Virginie une allure comparable, d'après les travaux d'Henri Rogers, à celle du Jura.

Ceux de Californie, du Colorado, du Mexique et du Pérou, ont fait leur apparition au moment du soulèvement des Montagnes Rocheuses et des Andes ; de même ceux de Bakou et du Taman au moment du soulèvement du Caucase ; ceux de Galicie et Roumanie au moment de celui de Carpathes ; ceux d'Italie au moment de celui des Apennins : c'est-à-dire tous à une période assez récente de l'époque tertiaire caractérisée par la formation des Alpes[2].

4° Le pétrole existe dans l'intérieur du sol sous pression (fait constaté par les puits jaillissants), avec une tendance constante à profiter de toutes les fractures qui peuvent s'ouvrir au-dessus de lui pour s'élever. Il est évident que tout plissement du sol postérieur à son dépôt, par la compression qu'il a exercée sur lui en même temps que par les gaz qu'il a pu dégager en développant de la chaleur, a dû contribuer à rendre son équilibre encore plus instable. Par suite, il peut arriver qu'au-dessus d'un gisement de pétrole plus ou moins ancien, des couches postérieurement déposées, souvent même presque actuelles, se trouvent néanmoins imprégnées de carbures : en sorte qu'on pourrait, si l'on ne se livrait pas à une discussion des faits suffisamment minutieuse, en déduire des conclusions fausses relativement à l'âge de l'épanchement principal.

5° Le pétrole, aussi bien que les autres hydrocarbures, peut, — de même qu'une source thermale à laquelle il est, à bien des rapports, comparable, — se présenter sous deux formes distinctes : soit dans la fracture même par laquelle il s'est élevé, soit, beaucoup plutôt, — puisque ce phénomène d'élévation est depuis longtemps

[1] Suess, t. I, p. 71.

[2] Dans l'intervalle, les schistes bitumineux si abondants à l'époque permienne pourraient marquer une formation hydrocarburée hercynienne.

terminé et que les fractures mêmes ont pu souvent se refermer, — dans les strates perméables qu'il a rencontrés en s'élevant.

Ces points précis peuvent, indépendamment de toute hypothèse théorique, nous renseigner sur la marche à suivre dans la recherche du pétrole.

Pour qu'une région renferme des gisements pétrolifères importants, il faudra que cette région ait subi des plissements énergiques ayant donné naissance à des fractures nettes et simples amenant des quantités notables d'hydrocarbures et qu'il se soit trouvé des couches perméables homogènes et continues pour les emmagasiner.

Dès lors, si l'on veut chercher du pétrole dans une région, on devra d'abord se rapprocher de la bordure des zones plissées et étudier l'allure des dislocations, puis chercher les affleurements de couches perméables et examiner s'il s'y produit quelques suintements.

Ensuite il y aura lieu de choisir, pour placer les sondages, entre les sommets des anticlinaux et les thalwegs des synclinaux. Par suite de la force ascensionnelle du pétrole, on doit prévoir que les anticlinaux seront généralement plus riches ; et c'est en effet ce que la pratique semble montrer pour les couches régulières à réservoirs pétrolifères anciens où l'équilibre hydrostatique s'est depuis longtemps établi. Dans le cas où le pétrole est encore en mouvement, et monte jusqu'à la couche où on le rencontre d'un niveau plus profond, par une fracture encore ouverte, il y a au contraire avantage à rechercher une fracture située à la base d'un synclinal ; celle-ci ayant pour épancher son huile toute la hauteur des flancs du thalweg situé au-dessus, tandis que le pétrole, pour s'élever dans une fracture anticlinale, doit se créer une place en exerçant une action de refoulement vers les côtés, et ne peut par suite arriver en moindre abondance.

D'ailleurs, dans ce cas de pétrole récent, il arrive fréquemment que le pétrole ait à se frayer un chemin, au-dessus des terrains plissés, dans des formations modernes souvent très irrégulières et inhomogènes (comme c'est le cas du Caucase, par exemple) ; les recherches peuvent alors être difficilement raisonnées.

Une fois le pétrole rencontré, il convient, pour apprécier un gîte, de ne pas oublier que les réservoirs intérieurs de ce corps semblent

restreints et assez rapidement épuisables. Nous avons vu en effet que la durée d'un puits est à peine de six mois au Caucase, de un an ou dix-huit mois en Amérique, et que, successivement, les niveaux pétrolifères rencontrés se tarissaient l'un après l'autre, en sorte qu'il fallait aller chercher le pétrole de plus en plus bas[1].

Dans un autre ordre d'idées, ces faits permettent de prévoir l'épuisement relativement prochain des grands gisements exploités avec une telle activité depuis vingt ou trente ans[2] et, par suite, la nécessité où l'on sera assez prochainement de revenir à d'autres gisements actuellement inconnus ou trop pauvres pour être aujourd'hui exploitables.

Reste à énoncer et discuter les diverses théories émises relativement à l'origine des pétroles.

Il est assez de mode aujourd'hui d'admettre à priori que tous les hydrocarbures ont nécessairement une origine organique et, pour les pétroles, il est des géologues qui hésitent seulement entre l'hypothèse de la distillation de combustibles fossiles (contredite par les relations stratigraphiques) ou celle de la décomposition d'organismes contemporains des couches encaissantes, c'est-à-dire dévoniens en Pensylvanie. On peut citer, parmi les premiers défenseurs de cette idée, le Dr Hunt, le Dr Krœmer, de Berlin, M. Engler, etc.

Les arguments sur lesquels on appuie la théorie organique sont les suivants :

1° Présence fréquente de restes organiques dans les gisements hydrocarburés : poissons dans la plupart des schistes bitumineux; restes de mollusques et de plantes marines dans les pétroles du Canada ; existence au Caucase de coquilles remplies d'huile, etc.;

2° Proximité de gisements de houille et grisou (de composition analogue au gaz des marais) dégagé par la houille ;

3° Association fréquente avec le sel et le gypse considérés comme provenant des eaux marines où se seraient décomposées les matières organiques, avec le soufre résultant de la réduction du gypse par ces matières ;

[1] Un autre motif conduit, comme nous l'avons dit, à s'approfondir, même avant épuisement d'un niveau, c'est le désir de trouver des puits jaillissants.

[2] La conclusion serait différente si l'on admettait que le pétrole continue à se former aujourd'hui.

4° Possibilité d'obtenir un corps analogue au pétrole en distillant sous pression des matières grasses.

Le premier argument a une certaine valeur surtout pour les couches de schistes bitumineux. Il est certain que des couches étendues de schistes bitumineux contenant de nombreuses empreintes de poissons ont dû, contrairement à ce que nous avons dit pour la plupart des gisements de pétrole, subir une imprégnation bitumineuse *contemporaine* de leur dépôt. Dès lors, l'idée la plus simple a dû être, en se rappelant le mode de formation actuel du gaz des marais, d'imaginer que ces bitumes s'étaient concentrés de même par la putréfaction des poissons accumulés dans des estuaires vaseux aux eaux basses, subissant, par quelques phénomènes de remous et de courants, l'apport des dépouilles d'animaux tombées au fond de la mer même. Il est parfaitement possible que, dans le cas des schistes bitumineux, peut-être aussi dans le cas des pétroles riches en restes organiques du Canada, cette hypothèse soit fondée, et que ces pétroles du Canada, les plus anciens de la région Est-américaine, soient les dépôts primitifs et contemporains de la sédimentation d'où, lors du plissement des Alleghany, les pétroles se seraient élevés au-dessus pour se répandre dans les niveaux perméables du dévonien et de l'anthracifère. Mais il ne nous semble en aucune façon permis de l'affirmer péremptoirement et surtout d'étendre la conclusion à l'ensemble des gîtes pétrolifères, comme le font volontiers les géologues américains et allemands.

Il faut en effet se rappeler que, si l'on a renoncé jadis à la théorie simple de la formation des hydrocarbures par putréfaction reprise aujourd'hui comme nouvelle, c'est en présence des objections comme celles résultant de la présence du carbone (graphite ou diamant) dans des roches primitives, d'accumulations d'acide carbonique dans les massifs éruptifs, de sources hydrocarburées ou de suintements bitumineux dans des gneiss, granites, roches, etc., au-dessous desquels on ne saurait supposer la présence de gisements organisés. L'association des restes organiques et des hydrocarbures peut fort bien tenir, non à ce que les hydrocarbures proviennent de ces restes, mais au contraire à ce qu'ils les ont conservés, préservés contre la destruction sous les

influences atmosphériques et, en quelque sorte, embaumés. D'ailleurs, lorsqu'on rencontre une coquille remplie d'huile, cette quantité d'huile est si incomparablement supérieure à celle qu'avait pu fournir le mollusque en se décomposant qu'on doit la supposer arrivée d'ailleurs et après coup. Enfin le pétrole, qui a une composition sensiblement différente de celle de l'huile de poisson (beaucoup moins d'oxygène), est plus léger que l'eau : en sorte que, se formant en mer libre, il aurait dû monter à la surface et détruire les microorganismes, de manière qu'il aurait arrêté aussitôt la fermentation putride qui le produisait.

Le second argument n'a, à notre avis, aucune valeur ; car le point de départ même en est erroné. Ce qui a pu y donner naissance, c'est la notion sommaire que le pétrole existait en Pensylvanie, dans la région où se trouvent aussi de grandes couches de houille ; mais le pétrole (qui tend toujours à s'élever) s'y trouve au-dessous de toutes les couches houillères et, par suite, n'en provient pas. Dans les autres pays, il peut se trouver accidentellement quelques lignites au voisinage des hydrocarbures ; mais ce n'est le cas ni au Caucase, ni dans les Apennins, ni en Auvergne, etc... Cependant, sur ce point encore, les schistes bitumineux semblent en quelque façon se séparer des autres produits hydrocarburés ; les schistes bitumineux de Buxière et d'Autun sont à faible distance de couches de houille ; la houille de Commentry contient des schistes bitumineux, etc. ; il est possible que bitume et houille se soient formés là dans les mêmes conditions par apport de matières organiques ; mais il n'est nullement démontré que, réciproquement, des hydrocarbures disséminés pour une raison quelconque dans l'eau des lacs n'aient pas joué un rôle dans la transformation des végétaux en houille.

Enfin l'argument fondé sur l'association du pétrole avec le sel et le gypse semble souvent exact ; il n'est guère de gisement de sel qui ne contienne des gaz grisouteux disséminés ; les salses et volcans de boue rejettent du chlorure de sodium en même temps que des hydrocarbures ; les pétroles de Galicie et de Roumanie se trouvent fréquemment (quoique nullement d'une façon constante) dans le salzthongruppe salifère, etc... Il est possible que le plissement qui amenait la concentration par isolement des lagunes

salées ait en même temps ouvert les fractures où s'est élevé le pétrole[1].

En contradiction avec la théorie organique, les autres théories chimiques ou volcaniques préconisées par MM. Berthelot, Daubrée, Mendéleeff, supposent tout différemment que le pétrole s'est formé et se forme peut-être encore, sans l'intervention de la vie, par une simple opération de synthèse minérale[2]. M. Berthelot a fait intervenir les métaux alcalins libres dont M. Daubrée admet l'existence dans le noyau igné. Les métaux, agissant sur de l'acide carbonique venant de la surface, donneraient, d'après lui, des acétylures alcalins qui, en présence de la vapeur d'eau et de l'hydrogène résultant de la réaction de cette eau sur les métaux libres, produiraient les pétroles, bitumes, goudrons, etc... Quelques curieuses expériences de MM. Byasson (1871), Friedel et Crafts (1877), Cloez (1877), Landolph (1878), ont montré la possibilité de la formation des hydrocarbures par voie minérale au moins dans le laboratoire. M. Mendéleeff a, plus simplement, admis, à la suite des phénomènes de plissement du globe, l'introduction de l'eau de la surface jusqu'aux métaux carburés du noyau central : ce qui, à haute température et à haute pression, donnerait, suivant lui, des carbures saturés analogues à ceux du pétrole. Enfin M. Daubrée a rapproché les pétroles des hydrocarbures dégagés par les volcans à la fin de leur éruption : cette théorie ne préjuge d'ailleurs rien sur l'origine première de ces hydrocarbures, liée aux idées d'ensemble qu'on peut se faire sur le volcanisme.

Nous ne dissimulons pas que cette dernière manière de voir est celle qui nous paraît la plus vraisemblable et que les réservoirs de pétrole ou d'hydrocarbures quelconques accumulés à divers niveaux de l'écorce terrestre nous semblent, pour la plupart, le résultat de phénomènes anciens d'origine minérale ; mais la

[1] Dans une note toute récente (*B. S. G.*, 2 nov. 91), M. Caldéron explique ce rapprochement par l'action des argiles ayant, à la fois, préservé le sel contre la dissolution et les matières hydrocarburées contre l'évaporation à l'air. Cette théorie nous semble très problématique.

[2] Pour M. Fuchs, l'origine de tous les hydrocarbures était exclusivement interne et en relation, suivant la théorie de M. de Chancourtois, avec les grands cercles du réseau pentagonal.

nature arrive souvent au même effet par des moyens divers : la théorie organique peut être également vraie localement. En tout cas, il nous semble qu'il y a là un de ces problèmes complexes et encore irrésolus pour lesquels il est tout au moins prudent de ne pas émettre d'opinions trop absolues.

HYDROCARBURES VISQUEUX

Les hydrocarbures visqueux prennent, dans la pratique courante, le nom de bitumes. Ils peuvent exceptionnellement suinter à l'état pur, comme c'est le cas dans les fissures de certaines roches difficiles à imprégner telles que les ophites des Landes, les syénites de Cuba, dans quelques régions pétrolifères d'Amérique, dans des fentes des gisements asphaltiques d'Auvergne (fontaine de la Poix, etc...), au voisinage de la mer Morte; le plus souvent, ils sont mélangés d'une matière terreuse dont il faut les séparer par une opération physique ou chimique : aussi réservons-nous la description des bitumes pour la classe des hydrocarbures mélangés.

HYDROCARBURES SOLIDES

Parmi les hydrocarbures solides, nous étudierons l'ambre et l'ozocérite.

AMBRE

Il existe deux espèces d'ambre absolument différentes, l'une qui ne nous intéresse pas ici, l'ambre gris envisagé comme une concrétion morbide formée dans l'estomac d'une sorte de cachalot et qu'on trouve flottant sur la mer près des côtes de Madagascar, des Moluques, du Japon, etc...; l'autre, l'ambre jaune ou *succin*, généralement considéré comme une résine fossile.

L'ambre jaune est, comme on sait, la première substance qu'on ait vue s'électriser par le frottement ; son nom grec était *électron*,

ı vient électricité. Ses usages principaux sont la bijouterie liers de perles, etc., surtout en Allemagne), la fabrication des aux de pipes, bouts de cigare ; il entre en outre dans la com- ition du vernis gras.

)n l'extrait principalement des dunes sablonneuses du Samland les bords de la Baltique, entre Memel et Kœnigsberg ; mais on a rencontré en outre en divers points : sur la côte autrichienne l'Adriatique ; en Roumanie dans la montagne de Sibdiz, district :en ; en Sicile, près de Catane[1] ; dans les argiles tertiaires du bas- de Paris, etc...

)ur la *Baltique*, les couches qui contiennent l'ambre peuvent) rapportées à l'éocène supérieur, représenté dans toute l'Alle- gne du Nord par une importante formation lignitifère qui va bords de l'Elbe à Cracovie.

.'ambre est réparti en profusion dans une couche de sable glau- ieux épaisse de $1^m,30$ à $1^m,70$, presque entièrement au-dessous niveau de la mer et recouverte par 23 mètres de sable glauco- ux pauvre en ambre qui supporte des argiles, des sables et enfin lignite rattaché à l'oligocène.

.'ambre qu'on considère, d'après Gœppert, comme provenant de sieurs espèces de Pinus (dont le P. succinifera) contient de nom- ux insectes, arachnides et myriapodes.

)n l'extrait du sable par un simple lavage. C'est une industrie occupe environ 1 400 personnes et produit 130 tonnes par an. concession a été renouvelée en 1887, pour 12 ans, moyennant) somme de 150 000 francs. On estime que chaque mètre cube ;able contient de 200 à 500 grammes d'ambre.

En *Russie,* les couches à succin du Samland allemand semblent prolonger ; on recueille près de 2 000 kilogrammes d'ambre an en Courlande.

)n en a trouvé également aux environs de Kiew, au bord du iéper et sur les côtes de la mer Blanche.

En *Sicile,* on recueille de l'ambre en assez grande abondance sur plage de Catane et dans des marnes tertiaires près de Gianetta ; ambre est particulier par sa fluorescence. M. le professeur

[1] D'où provient une belle collection rassemblée au musée de Bologne.

Bombicci, de Bologne, qui l'a spécialement étudié a exprimé cette opinion que l'ambre est une matière bitumineuse produite par l'altération chimique progressive de débris végétaux, beaucoup plutôt que la résine du pinus succinifera découvert par Gœppert.

Bibliographie.

1843. Gœppert. — Sur l'origine de l'ambre. (*B. S. G.*, 2e, I, 19.)
1879. Exploitation de l'ambre en Prusse. — *Cuyper*, t. XXVII, 413.
1879. Gœppert. — Sull ambra di Sicilia. Rome (*acc. Lincei*, 3e série).
1879. Capellini. — Ambra a Merlano presso Sarigno nel Bolognese (*acc. Linci*, 3e, III, 249).
* 1883. Gœppert Und Menge. — *La flore du succin*, t. I. Dantzig, in-4e, viii.
1886. Stoppani. — L'ambra (Milan).
1888. Davies, p. 230.
1890. Bombicci. — La collezione di ambre siliciane (Bologna).

OZOCÉRITE

L'ozocérite, qu'on appelle aussi ozokérite, erdwachs ou paraffine naturelle, est un pétrole solide d'un vert plus ou moins brunâtre, jaune de miel ou rouge hyacinthe, par transmission, tendre, flexible, se pétrissant entre les doigts lorsqu'on l'échauffe un peu, dégageant une odeur aromatique et présentant une cassure conchoïdale. Elle contient de 32 à 50 p. 100 de paraffine et est surtout employée pour sa préparation ainsi que pour celle d'un hydrocarbure blanc appelé *cérésine* pouvant remplacer la cire d'abeilles dans toutes ses applications. On consomme aujourd'hui en France une certaine proportion d'ozocérite pour remplacer la gutta-percha (qui tend à disparaître) comme isolant électrique, pour fournir aux abeilles des ruches artificielles, pour faire des enduits, etc.

La *paraffine* elle-même, dont nous dirons quelques mots à cette occasion, est un corps blanc cireux et cristallin qu'on peut extraire également des pétroles, des goudrons de bois et de houille, des huiles de schistes, etc... Suivant son origine, elle présente des points de fusion variant de 43 à 80° et au delà ; elle bout vers 300°. L'alcool concentré et bouillant la dissout aisément pour l'abandonner par refroidissement sous forme de belles aiguilles blan-

:s, solubles dans l'éther. Chimiquement, ce n'est pas un prin- e défini, mais un mélange de carbures $C^{2n}H^{2n+2}$ et $C^{2n}H^{2n}$ sans rgène ni azote : ce qui la distingue immédiatement des bitumes. l'utilise, au lieu de cire, pour la fabrication des cierges, etc... Les *gisements* d'ozocérite sont assez rares. Le premier qui ait été nu est celui de *Slanik* en Moldavie, au pied des Carpathes, iqué en 1835 par le docteur Mayer ; depuis, on en a retrouvé en ers points de la Galicie, principalement à *Boryslaw*, centre ourd'hui d'une exploitation active de cette substance [1], et au sinage, à *Truskawice*, *Starunia*, *Dwiniacz*. Il en existe égale- nt à *Gresten* près Gaming, en Autriche, près de *Libisch* en Mora- , à *Urpeth* en Angleterre, en divers points du Caucase, notam- nt dans l'île *Tscheleken* et dans l'*Utah* en Amérique.

En Galicie, l'industrie de l'ozocérite, organisée seulement en 0, peut être représentée actuellement par les chiffres suivants production annuelle :

Boryslaw.	10 000	tonnes	à	500 francs	= 5 000 000
Starunia.	3 000	—	à	—	= 1 500 000
Dwiniacz	1 800	—	à	—	= 900 000
Truskawice.	1 200	—	à	—	= 600 000
					8 000 000

'est sur ces gisements galiciens que nous insisterons principa- ent.

OZOCÉRITE DE GALICIE

éologie. — Nous n'avons pas besoin de rappeler la géologie Carpathes, décrite plus haut, page 120, à propos des gisements rolifères. L'ozocérite accompagne souvent le pétrole comme un duit secondaire ; parfois aussi, comme à Boryslaw, elle est corps principal. Nous avons déjà noté la présence de soufre, ite et blende associés avec elle à Dwiniacz.

À *Boryslaw*, l'ozocérite forme, à travers un terrain composé de

[1] Ce gisement a été décrit en 1887 et 1888 dans les *Annales des Mines*, par Rateau et Babu. Voir Coll. *Ecole des Mines*, 1791.

schistes et de grès miocènes, une série de véritables filons allant de quelques millimètres à plusieurs mètres d'épaisseur.

La coupe du terrain (fig. 24) présente un plissement très accentué

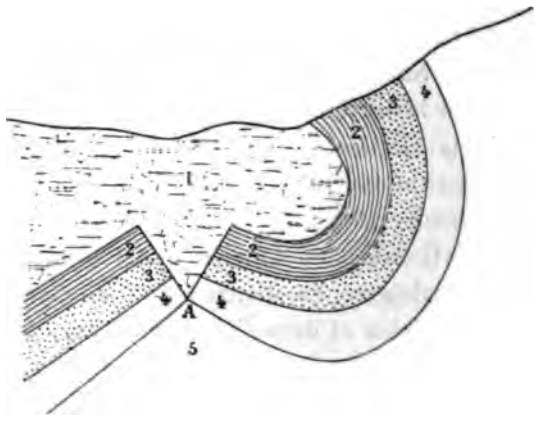


Fig. 24. — Coupe de la région de Boryslaw.
1. Salzthongruppe. — 2. Schistes à mélinite. — 3. Grès. — 4. Éocène inférieur (carpathique). 5. Crétacé (carpathique).

accompagné d'une fracture A par laquelle le salzthongruppe s'est introduit jusqu'au contact des grès carpathiques crétacés. On admet que les hydrocarbures se sont élevés par cette fracture.

Une fois arrivés aux schistes et grès du salzthongruppe, ils ont évidemment suivi d'abord des joints de roches perméables

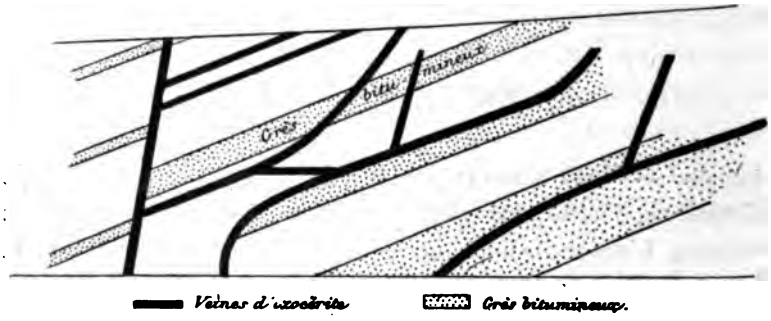


Fig. 25. — Coupe verticale montrant la disposition des veines d'ozocérite à Boryslaw.

et imperméables, puis les fractures de toute espèce que pouvait leur offrir la roche : fractures soit parallèles à la schistosité et prenant la forme de joints, soit transversales (voir fig. 25).

On a remarqué que l'ozocérite devenait de plus en plus plastique

mesure qu'on s'approfondissait, non seulement par un effet de accroissement de température, mais par suite d'une altération noins complète, correspondante à la diminution de densité qu'on bserve en s'enfonçant dans tous les gisements pétrolifères. En nême temps, la proportion de suintements de pétrole liquide et azeux, qui sont une des grandes gênes et des dangers de l'exploiation, augmentait. Il est possible qu'à une certaine profondeur n ne trouve plus que du pétrole liquide.

Le *traitement de l'ozocérite* consiste en général à la fondre dans ne chaudière par un courant de vapeur, puis à la distiller, d'abord . la vapeur, ensuite par un chauffage à feu nu. La matière disillée est coulée en pains qu'on comprime à la presse hydraulique our les débarrasser de leur excès d'huile. Enfin on blanchit la ire en fondant et brassant avec de l'acide sulfurique; celui-ci va u fond en entraînant la matière colorante.

Un autre procédé, dit procédé Reddl, consiste à blanchir en fonant avec trois parties de noir animal, puis dissolvant la cire avec u sulfure de carbone ou de la benzine.

A *Slanik*, en Moldavie, l'ozocérite se trouve au milieu d'un grès itumineux voisin de couches de houille et de sel gemme. Elle une densité de 0,953 à 15° C.

A *Tscheleken*, dans le Caucase, une ozocérite nommée neftgil, aphtadil, nephatil, neftedegil ou steintalq, se trouve en grains ans des sables et argiles au voisinage de sources de naphte qui, 'après M. Fritzsche, traverseraient peut-être en profondeur une ouche intérieure d'ozocérite en la dissolvant peu à peu.

Dans l'*Utah*, l'ozocérite forme, dit-on, au milieu de bancs de raie, une couche de 100 kilomètres de long, 30 de large et 6 mètres l'épaisseur. Cette variété a l'aspect d'une cire brune très foncée. Elle fond un peu au-dessus de 70°. En la traitant par l'éther, on n dissout à froid 12 p. 100, à chaud 37 p. 100 et il reste 1 p. 100 d'ozocérite insoluble particulièrement foncée.

Bibliographie.

1871. Heurteau. — Sur le pétrole de Galicie. (*Ann. des M.*)

1881. Paul. — Ueber das Ozokerit und Erdolvorkommen von *Boryslaw*. *Verhandlungen der KK. geol. Reichsanstalt*, mars-mai 1881, p. 107. Vienne.)

1884. Hassenpfug. — Sur l'ozocérite. (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. II, p. 253. Lille, 1883-84.)

1885. Syroczynsky. — Revue universelle de Liège.

1885. Clayton. — (*Eng.*, 14 mars 1885.)

188 . Romer. — Uber das Vorkommen des Ozokerits oder Erdwachs und begleitende Fossilien in die Sobieski Grilla bei Truskawiec in Ost Galizien. (*Schlesische Gesellschaft fur Vaterlandische Cultur.*, 63e Jahres Bericht, p. 119. Breslau.)

* 1887. Rateau. — Sur l'ozocérite de Boryslaw. (*Ann. des M.*, 1887, p. 147.)

* 1888. Babu. — — — — (*Ann. des M.*, 1888, p. 163.)

1888. Przibilla et Syroczynski. — Sur l'ozocérite de Boryslaw. (*Cuyper*, 1888, t. IV, p. 16.)

1889. Narcy. — Les bitumes. (*Bull. Ecole des Mines.*)

HYDROCARBURES MÉLANGÉS A UNE GANGUE TERREUSE. — BITUMES[1]

Composition chimique. — Le *bitume*[2] visqueux ou solide peut être envisagé d'une façon approximative comme un produit d'oxydation des pétroles au voisinage de la surface. D'anciennes recherches de Boussingault avaient donné à cette idée une confirmation assez séduisante, mais reconnue depuis inexacte en conduisant à le considérer comme un mélange en proportions variables de deux substances distinctes : le pétrolène liquide C^{40} H^{82} et l'asphaltène solide C^{40} H^{82} O^{6}, c'est-à-dire un oxyde de pétrolène dont l'abondance plus ou moins grande aurait rendu le pétrole plus ou moins consistant. En réalité, il a été vérifié depuis que la composition des bitumes, aussi bien que celle des pétroles, était beaucoup plus complexe et que les divers hydrocarbures naturels gazeux, liquides ou solides, formaient une série continue où l'état physique seul, plus ou moins consistant, permettait d'établir des divisions.

Les bitumes sont donc des carbures d'hydrogène généralement combinés à de l'azote, de l'oxygène et du soufre. Seul, le bitume de Judée ne renferme qu'exceptionnellement de l'oxygène, ce qui le rapproche de l'ozocérite ; mais le soufre y est constant.

Parmi les autres bitumes, nous donnerons la composition élé-

[1] Sur le bitume en général, voir Narcy, *Bull. de l'Ecole des Mines*, 1889.

[2] En prenant ce mot dans son acception courante.

ıentaire de celui de Pechelbronn en Alsace, qui a été très étudié t peut servir de type.

	C	H	O	S	Az.	Cendres.	Auteur de l'analyse.
Pechelbronn	85,7	12,0	2,3				Le Bel.
	87,5	11,1	0,3		1,10		Boussingault.
	86,6	11,4	0,3	1,4	0,3	0,5	Kayser.

Au point de vue du groupement de ces divers éléments, les ravaux de MM. Le Bel et Müntz semblent avoir fait la lumière.

D'après eux, le premier principe qu'on peut extraire du bitume et ui s'obtient par deux distillations successives en faisant digérer ans l'intervalle avec du chlorure de calcium, est une huile inco- ›re de densité 0,891 à 21°, soluble dans l'éther, isomère des essences e citron, de térébenthine et de copahu C^{20} H^{32}, le pétrolène e Boussingault.

Quant au principe colorant, il peut être isolé en dissolvant le itume dans l'éther et en ajoutant de l'alcool qui détermine la for- ıation de deux couches : la supérieure rouge sombre, contenant ne résine rouge et de la paraffine, l'inférieure complètement noire onnant une poix qu'on peut faire cristalliser en écailles noires ar dissolution dans le sulfure de carbone et à laquelle on réserve ujourd'hui le nom d'asphaltène. Sa composition est :

C : 86,2 H : 8,8

ındis que celle de l'asphaltène complexe de Boussingault était

C = 74,23 H = 9,90 O = 15,87

Usages des bitumes. — Industriellement, le *bitume de Judée* a es usages spéciaux pour la fabrication des vernis, celle des cou- ›urs, la photographie, etc.

Il forme, avec de l'essence de térébenthine, de la cire blanche t du noir d'ivoire, la base de vernis noir ayant la propriété de ne as se fendiller.

Un bon bitume pour cette application doit être, une fois réduit n poudre, d'un brun marron foncé et n'exhaler aucune odeur, à ıoins qu'on ne le chauffe.

Pour les couleurs au bitume, on se sert de bitumes ayant une ·ansparence spéciale avec lesquels on prépare des couleurs dont

la nuance est très peu altérée au début. Ces couleurs qui ont eu une grande vogue dans l'école de 1830 (Decamps, Delacroix, etc.) ont l'inconvénient de noircir rapidement à l'air.

Enfin ce bitume, dissous dans un vernis, jouit d'une sensibilité particulière à la lumière qui l'a fait prendre pour base des premiers essais photographiques et de certains procédés de gravure héliographique.

On trouve le bitume de Judée dans le commerce en gros morceaux mélangés de matières terreuses, de calcaire, d'argile et de sable. Il vaut jusqu'à 1 000 francs la tonne.

Quant aux autres bitumes, leur usage principal est d'entrer, comme addition avec des calcaires imprégnés de bitume ou asphaltes, dans la fabrication du mastic asphaltique. Nous reparlerons plus loin de l'asphalte ; contentons-nous de dire pour le moment que la proportion de bitume à ajouter varie de 7 à 8 p. 100. Les bitumes de la Trinidad ont, pour cette application, un monopole presque absolu qui s'étend même aux centres de production d'asphalte où, comme à Seyssel, on pourrait trouver sur place des sables bitumineux.

Ces bitumes entrent également dans un certain nombre d'autres industries. La faculté qu'a le bitume de dissoudre le soufre et le caoutchouc lui assure un emploi dans la préparation industrielle des caoutchoucs ; le pouvoir qu'il a de se dissoudre dans l'éther, l'essence de térébenthine, la benzine, le sulfure de carbone, etc, en fait l'un des éléments des vernis ; on sait de plus que les Egyptiens s'en servaient pour la conservation des corps : d'où son nom de baume des momies.

On a essayé enfin d'en extraire une huile d'éclairage analogue au pétrole ; mais cette huile était trop impure et trop nauséabonde et l'on y a généralement renoncé. En raison même de cette mauvaise odeur de l'huile de bitume, on a préconisé plusieurs fois depuis 1876 son emploi comme insecticide, en particulier contre le phylloxéra ; il paraîtrait qu'on serait arrivé récemment en Angleterre à quelques résultats dans ce sens.

Gisements des bitumes. — Les bitumes peuvent se présenter à l'état de mélanges soit avec des terres, soit avec des sables

t on les sépare facilement par un simple lavage à l'eau bouil-
te. Dans les calcaires et les schistes, ils constituent une impré-
tion plus complète : asphaltes et schistes bitumineux, dont
is nous réservons de parler au chapitre des hydrocarbures
orporés et dont on ne peut extraire le bitume que par un pro-
é beaucoup plus complexe : dissolution chimique ou distillation.
es bitumes, plus ou moins mélangés à des terres, peuvent
présenter soit en filons nets : la Havane, Ritchie en Virginie,
ert Coal (Nouveau-Brunswick), mer Morte, etc.; soit en nappe
erstratifiée comme à Guaracaro (Trinidad), dans le Kurdistan,
elenitza (Albanie), etc. Le gisement de bitume le plus impor-
t, celui du lac de la Braie (Trinidad), semble se rattacher au
e filonien; il fournit en moyenne 16 000 tonnes par an, vendues
France environ 100 francs la tonne.

Pour les bitumes mélangés à des sables qui sont généralement
is importance industrielle, nous nous bornerons à mentionner
types français : sables du Bugey, de Chamalières et Lussat en
vergne, de Bastennes dans les Landes, etc.

Il y a d'ailleurs, comme il est facile de le prévoir, souvent con-
xion intime entre ces bitumes simplement mélangés et ceux
orporés à l'état d'asphaltes que nous sommes forcé d'en séparer
ne façon un peu factice pour mettre de l'ordre dans cette des-
ption.

BITUME DE JUDÉE

Le bitume de Judée flotte par fragments plus ou moins gros sur
mer Morte et vient s'échouer en particulier sur la plage occi-
ntale et sur les bords du Lisan où les Arabes en recueillent
rmi les graviers.

Ce bitume monte de la profondeur et vient former des îles qui
aient été remarquées dès l'antiquité et que Strabon a décrites.
s tremblements de terre ont généralement pour effet d'en aug-
enter la proportion.

C'est ainsi qu'en 1834, après une forte secousse, une masse de
us de 20 tonnes vint échouer sur l'extrémité Sud ; en 1837, le

même fait se reproduisit après un choc qui ébranla toute la Syrie et une masse d'asphalte de 15 tonnes jaillit à la surface.

On peut supposer que ce bitume spécial est apporté par des sources thermales jaillissant au fond du lac et qui, peut-être, l'empruntent, par un procédé analogue à celui qu'on applique industriellement, aux calcaires et sables asphaltiques des environs de la mer Morte que nous aurons l'occasion de décrire un peu plus loin.

BITUMES DE LA TRINIDAD

L'île de la Trinidad, à l'extrémité Sud de la chaîne des Antilles, au voisinage du Venezuela, sur la côte américaine, est, depuis longtemps, le centre de beaucoup le plus important de production du bitume. Ce bitume s'y présente dans deux gisements d'allure distincte que nous réunirons à cause de leur rapprochement géographique : au lac de la Braie, en masse affleurant à la surface du sol et d'allure filonienne ; à Guaracaro, en couche dans le pliocène.

Géologie. — L'île de la Trinidad comprend, au point de vue géologique, d'après un mémoire de M. Cumenge, trois groupes de terrains alignés par bandes Est-Ouest[1] :

1° Au Nord. *Terrain ancien, groupe de Caraïbe.* — Micaschistes souvent très quartzeux avec interstratifications de calcaire cristallin. Epaisseur : 3 à 4 000 mètres.

2° Au centre de l'île. *Groupe ancien du Paria* (néocomien et éocène). Ce groupe est composé de grès assez durs, de schistes et de roches argilo-calcaires. Les couches plongent de 45° vers le Sud. Certaines couches gris foncé sont imprégnées de bitume. Des substances bitumineuses s'échappent également à la base de la montagne sous forme de sources avec huile asphaltique et hydrogène sulfuré : ce qui semblerait prouver que les émissions bitumineuses ont commencé avant le troisième groupe dont nous parlerons plus loin. Ces terrains ne contiennent pas de fossiles ; mais, sur

[1] Voir une carte ci-jointe, fig. 26.

e continent, les couches analogues de la Nouvelle-Grenade ont été attachées au *néocomien* d'après les fossiles de d'Orbigny.

Dans l'intérieur, les couches sont fort redressées et M. Cumenge e serait pas éloigné de penser que la série se poursuit jusqu'à

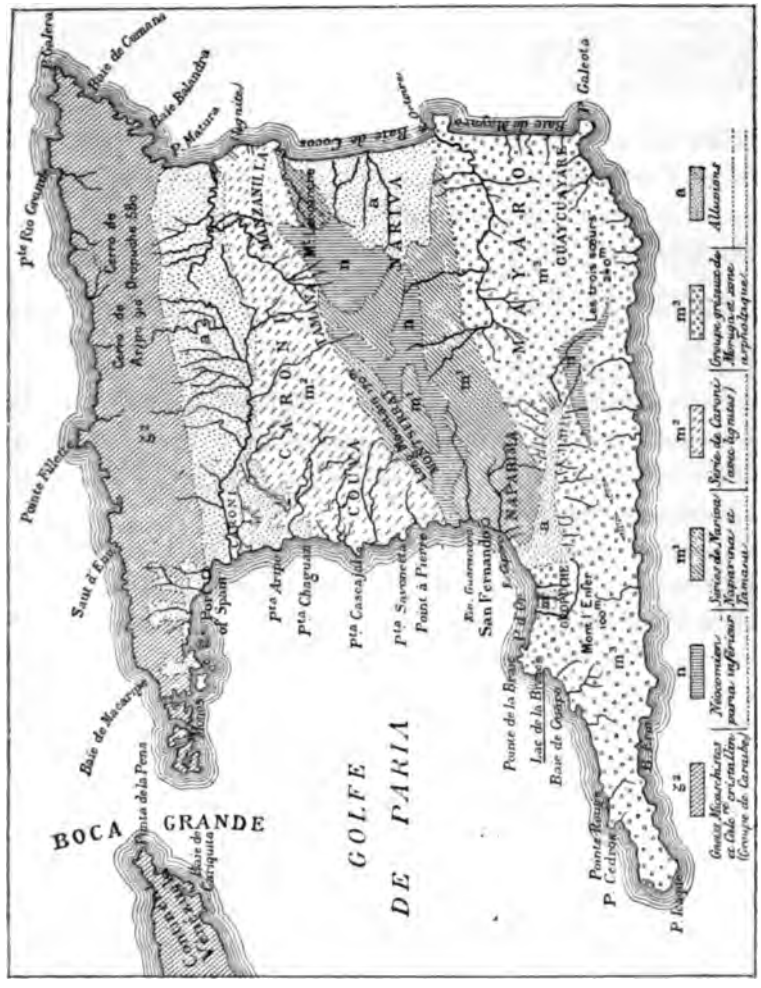


Fig. 26. — Carte géologique de l'île de la Trinidad.

ocène. La découverte de lignites dans les *grès de Piparo* et la sposition du gisement de bitume de Guaracaro feraient classer haut du *groupe ancien du Paria* dans le tertiaire.

3° *Groupe supérieur du Paria* (miocène). — C'est une succession calcaires, schistes, sables ferrugineux, conglomérats, argiles,

marnes, occupant le bassin du Caroni entre les deux premiers groupes et le Sud de l'île, et dans laquelle est situé le grand gisement bitumineux du lac de la Braie.

L'ensemble des couches est *miocène* (on y rencontre des fossiles); en voici le détail de haut en bas :

A. *Série de Nariva* (m^1) : Argiles et calcaires jaunâtres formant le sous-sol des cultures à canne à sucre (terrains rouges).

B. *Marnes de Naparina* (m^1) : Marnes, conglomérats et sables calcaires. Certaines fissures contiennent du bitume. Les imprégnations bitumineuses avec du soufre sont fréquentes aux environs de San Fernando.

C. *Calcaire de Tamana* et *Mont Serrat* (m^1) : Calcaires granulaires et cristallins.

D. *Série lignitifère de Caroni* (m^2) (Epaisseur 1 200^m) : Cette série s'observe sur la côte Est. Les couches inférieures, non lignitifères, sont des schistes gris foncé avec couches de sable, et contiennent souvent du soufre.

Les couches supérieures sont lignitifères. Elles sont formées de schistes argileux avec couches de sable jaune supportant des couches de lignites nombreuses, mais peu puissantes. Les inclinaisons sont fortes sans qu'on puisse voir de roches éruptives dans le voisinage.

E. *Série sableuse de Moruga* (m^3) : Sur la côte Sud de l'île, il existe des couches sableuses, souvent à ciment calcaire et résistant à la mer. On y trouve du lignite et une grande dissémination de matière asphaltique.

On y rencontre également de la *porcelanite*, matière rouge constituée par des sables semi-vitrifiés avec matières charbonneuses qu'on observe surtout à Erin Cedros et au fond de la baie de Guapo (fig. 27).

Gisements de bitume. — Le grand gisement de bitume de la Trinidad est le lac de la Braie. M. Cumenge, en 1881, en a étudié un autre, celui de Guaracaro.

Lac de la Braie. — Le *lac de la Braie* est situé sur la côte Ouest de l'île vers la pointe de la Braie (ou Bréa), à 1 500 mètres du rivage et à une altitude d'environ 45 mètres.

Ce prétendu lac n'est, en réalité, pas autre chose qu'une étendue solide où piétons et voitures peuvent circuler. Il est de 40 hectares environ et entièrement formé de bitume solide parsemé de quelques îlots de terre avec des arbres et sillonné de canaux sinueux remplis d'eau.

Au milieu du lac, il existe deux ou trois points d'émission du

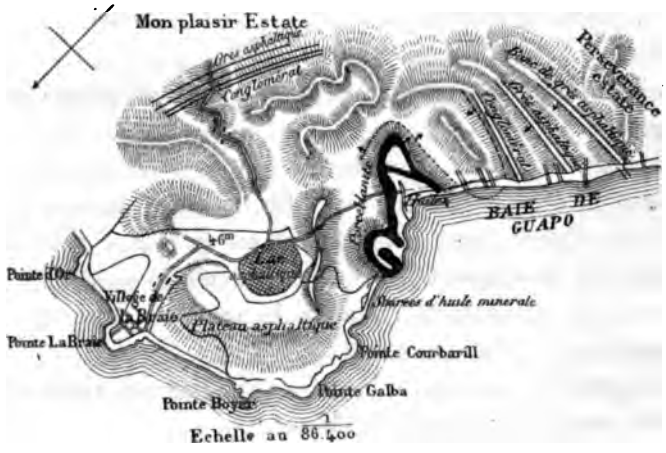


Fig. 27. — Carte du gisement de la Braie (Trinidad).

bitume où la matière reste plastique et n'a pas encore perdu ses huiles volatiles. Les canaux des environs sont remplis d'une eau sulfureuse et colorée. On y sent l'odeur de l'hydrogène sulfuré.

Les géologues anglais admettent plusieurs centres anciens d'émission bitumineuse. Les *canaux* ne seraient pas autre chose que les *lignes de suture* des masses adjacentes, plastiques, mais plus assez imprégnées d'huile pour se souder exactement.

Le *cubage* du lac de la Braie conduit au chiffre minimum de *trois millions de tonnes.*

L'extraction actuelle étant de 16 000 tonnes, on voit que ce gisement a encore devant lui un long avenir.

Les excavations pratiquées dans la masse se remplissent d'ailleurs d'elles-mêmes jusqu'à présent : ce qui tient, d'après M. Cu-

menge, à la plasticité du produit, mais non à l'émission qui a probablement cessé de nos jours.

Conditions économiques. — Le *Lac*, appartenant à la couronne, est affermé à une compagnie pour 75 000 francs par an. L'*extraction* est de 16 000 tonnes, dont 11 000 tonnes de bitume brut et 5 000 tonnes de bitume épuré.

La France en consomme	3 000	tonnes.
L'Angleterre	3 000	—
Les États-Unis	5 000	—
L'Allemagne et le continent	5 000	—

L'asphalte brut est pioché au pic et porté au rivage dans des tombereaux.

Il vaut 20 francs la tonne au rivage et 25 francs sous palan.

A l'état brut, ce bitume de la Braie est d'une couleur rougeâtre, très foncée lorsque la cassure est fraîche. Sa densité peut atteindre 1,3. Il contient souvent des débris de plantes.

L'*épuration* consiste à chauffer la matière pour en chasser 30 p. 100 d'eau qu'elle contient.

Cette opération s'exécute dans les chaudières à sucre chauffées à feu nu, réunies par groupes de six.

On charge huit tonnes de bitume à la fois. L'opération dure vingt-quatre heures; elle exige la présence de cinq ouvriers et une consommation de deux cordes de bois.

Le bitume fondu est ensuite puisé à la poche et versé dans des barils à farine. On compte six barils pour une tonne.

Le bitume épuré se vend 60 francs la tonne *sous palan*. Il faut ajouter le *fret* de 32 à 38 francs pour la France. Le *prix de vente* en France est donc de 100 francs; mais, en France, on préfère généralement recevoir le bitume brut.

D'après M. Cumenge, cette épuration sommaire pourrait être perfectionnée par un système de fours appropriés et en employant comme combustible les déchets de bitume.

On pratique une autre opération qui consiste à dissoudre et à purifier le bitume par décantation au moyen d'une huile de schistes bitumineux qui ressemble à du bitume liquide. On en

mélange 300 kilogrammes à 900 kilogrammes de bitume brut, on fond à 120° et l'on décante après ébullition. On obtient ainsi un produit très estimé.

Lorsqu'on veut opérer l'épuration du bitume par fusion, il est en effet nécessaire d'ajouter un fondant bitumineux fluide afin d'éviter l'élévation de température et d'obtenir, suivant les besoins, un mélange plus ou moins pâteux à la température ordinaire.

Dans les environs du lac de la Braie, à Oropuch, un sondage pratiqué par les Américains donne de l'huile de naphte de bonne qualité que l'on a songé à employer à cet usage.

Gisement de bitume de Guaracaro (District du Mont Serrat). — Ce gisement, situé près du gîte de charbon de Piparo, sera bientôt relié par un tramway à la capitale. Il est situé dans le district de Mont Serrat.

Le sol est montueux et découpé par des ravins sinueux.

La *surface du sol* est constituée par des sables argileux et ferrugineux avec fragments de grès; le tout supporté par une série tertiaire de gros calcaires et conglomérats *miocènes*.

C'est entre deux falaises tertiaires soulevées et ensuite rongées par les agents atmosphériques que se sont déposés les terrains argilo-marneux renfermant un bitume très particulier à 9,50 de cendre seulement, alors que le bitume brut du lac de la Braie en donne 47.

Il est possible que l'on doive rattacher cette formation à celle des *mud-volcanos* ou volcans de boue si fréquents sur le reste de l'île. Ces volcans sont constitués par des cônes de $0^m,50$ à 1 mètre d'argile bleutée qui sort en suspension dans l'eau avec des hydrocarbures et de l'eau salée. Le gisement de Guaracaro ne serait ainsi qu'une reproduction ancienne et en grand de ce phénomène.

Les travaux exécutés ont montré que la couche de bitume est encaissée dans l'argile. Elle a 4 pieds d'épaisseur et une inclinaison faible. La couche est reconnue sur 300 mètres de longueur. Il est probable qu'elle s'étend beaucoup plus loin.

Le bitume de Guaracaro est tout à fait supérieur. Solide et dur à la température ordinaire, il fond à 300°, sa densité est de 1,33. Sa cassure est conchoïdale.

Voici quelques chiffres empruntés à M. Cumenge qui peuvent servir de point de comparaison :

	CARBONE FIXE	MATIÈRES VOLATILES	CENDRES	OBSERVATIONS
Bitume brut du lac de la Braie.	3	50,00	47,00	Cendres ferrugineuses
Bitume brut du plateau de la Braie	18	28,00	34,00	»
Bitume fluide du centre du lac.	5	62,00	33,00	»
Bitume épuré du lac. . . .	5	58,00	37,00	»
Bitume de Guaracaro . . .	7	83,60	9,40	»

Ces analyses rapprocheraient le bitume de Guaracaro du *bitume de Judée* et du *japopote de Cuba*.

L'étude chimique de ce corps a en outre montré qu'il y existait 10 p. 100 de soufre, 1 p. 100 d'azote (ce qui constitue une forte proportion) et 2 p. 100 d'eau seulement, provenant non pas de la décomposition de produits oxygénés, c'est-à-dire de résines qui ne paraissent pas exister, mais d'eau d'interposition.

Les hydrocarbures liquides ne renferment ni benzine, ni acide phénique. A 600°, on obtient un coke très dur et brillant.

Voici l'analyse :

Coke.	42,50
Eau	2,00
Hydrocarbures liquides.	37,40
Produits gazeux.	17,80
	100,00

M. Cumenge a enfin remarqué que les hydrocarbures liquides obtenus dans cette distillation appartiennent à la série des *hydrures des radicaux alcooliques*.

Ce bitume de Guaracaro est employé sous le nom de *glance pitch* dans la fabrication des vernis.

Au point de vue de l'origine des hydrocarbures à la Trinidad, M. Wall a affirmé que, lorsque le bitume était encore à la place où il s'était formé (?), il se trouvait uniquement dans des schistes particuliers ayant contenu originairement des matières végétales dont on retrouverait la trace, suivant lui, en dissolvant le bitume.

Il en résulterait, d'après cet auteur, que le bitume serait un produit de décomposition des matières organiques comparable au lignite formé à la température ordinaire des Antilles. Cette théorie, fondée sur une idée préconçue, est plus que contestable.

Bibliographie du bitume de la Trinidad.

1841. Sainte-Claire Deville. — Bitume de la Trinité. (*C. R.*, 26 juin 1841.)
1860. Wall et Sawkins. — Rapport sur la géologie de la Trinité.
1868. Gordon. — Trinidad Petroleum. (*J. Sc. A.*, t. XVI, p. 763.)
1878. W.-O. Crosby. — Physical geography and geology of the Island of *Trinidad*. (*Proceedings of Society of natural history*, t. XX, p. 44. Boston, 1878.)
* 1882. Cumenge. — Le bitume de la Trinité. (*Ann. des M.*, 1882, p. 137.)
1888. Davies, p. 221.

AUTRES GITES DE BITUME (CUBA, VIRGINIE, Etc).

Les bitumes de la Trinidad, avec leur 16 000 tonnes d'extraction annuelle, ont, nous l'avons dit, presque le monopole de la production industrielle; néanmoins il est intéressant, au point de vue géologique, de décrire quelques autres gisements.

Il en est un certain nombre qui présentent une association remarquable avec des roches éruptives : ainsi ceux de *Cuba*[1]; en particulier au voisinage de la Havane. Le bitume de Cuba se trouve le long d'affleurements serpentineux, près de Regla, *Guanabacoa* et Bajurabayo. A Guanabacoa, d'après Davies, il suinterait de la serpentine. Taylor parle de veines bitumineuses cunéiformes dans une série de roches métamorphiques et magnésiennes parmi lesquelles dominent la serpentine, les diorites et les euphotides. A *Banes*, à l'Ouest de la Havane, on a commencé l'exploitation de gisements de bitume ayant la composition suivante :

Bitume	73,05
Eau	1,25
Silice	11,48
Alumine	8,51
Oxyde de fer	5,70
	100,00

[1] Voir Narcy, p. 82, Davies, p. 221.

Un peu de pétrole se rencontre, en outre, entre les villes de Matausias et de la Havane.

L'allure filonienne des gisements bitumineux est extrêmement fréquente ; nous l'avons rencontrée pour l'ozocérite de Boryslaw et, jusqu'à un certain point, au lac de la Braie ; nous la retrouverons pour la mer Morte, voici quelques autres exemples :

Dans le comté de *Ritchie*[1] (Virginie occidentale), on exploite pour les travaux de voirie un filon de bitume vertical formé d'une partie centrale terne entre deux salbandes brillantes et cristallines. Ce filon, dirigé N. 12° O., est connu sur une longueur de 1 000 mètres et sur une profondeur de 100 mètres ; il traverse des grès et des schistes houillers non imprégnés avec une puissance de 1^{m},20 dans les grès, de 0^{m},75 dans les schistes.

A *Hillsborough*[2], dans le comté d'Albert (Nouveau Brunswick), en exploite un gisement de 3 mètres de puissance qui paraît comparable. L'*Albert coal* est extrêmement brillant, brûle presque sans fumée, se dissout dans le naphte en formant un vernis brillant. Sa distillation dans une large cornue donne, en moyenne, les résultats suivants :

Matières volatiles	61,05
Charbon fixe ou coke	30,65
Vapeur d'eau	0,86
Cendres	7,44
	100,00

Dans les *Pays-Bas*[3], au Sud des deux chaînes de collines des environs de *Bentheim*, on trouve également, au milieu d'un schiste argileux crétacé du gault, un filon de bitume solide d'une puissance de 0^{m},50 à 0^{m},65. Contre les salbandes, on voit une couche de bitume argileux, puis une couche de pyrites rayonnées et, sur celle-ci, du spath calcaire bacillaire dont les cristaux sont dirigés vers le centre du filon. Enfin, la partie centrale est formée d'un bitume solide très brillant.

L'existence de bitume dans de véritables filons métallifères n'a rien d'ailleurs d'anormal.

[1] Voir Narcy, p. 23.
[2] Voir Narcy, p. 84.
[3] Voir Narcy, p. 23.

C'est ainsi qu'aux mines d'argent de Kongsberg (Norvège), on en a rencontré dans des filons de calcite et d'argent natif traversant le terrain primitif.

Également dans le terrain primitif (zone des leptynites), nous avons pu constater nous-même à Norberg (Suède), dans un gisement de fer oligiste et magnétite, la présence d'un filon de quartz contenant de nombreuses poches remplies de bitume, soit liquide, soit solidifié en perles. Il est difficile de nier que, dans ce cas, le bitume ait été apporté par des sources contenant de la silice (par exemple à l'état de silicate de soude en dissolution) et il nous semble que c'est un fait de nature à expliquer l'abondance, dans le permien du Nord du Plateau Central, de nappes siliceuses chargées d'hydrocarbures qui leur donnent une odeur fétide.

Comme dernier type de bitume filonien, nous décrirons les gisements de la mer Morte.

GITES BITUMINEUX DE LA JUDÉE ET ASPHALTES DE LA MER MORTE[1]

I. — CARACTÈRES GÉNÉRAUX

Alignement. — Les gîtes bitumineux de la Judée, depuis l'extrémité méridionale de la mer Morte jusqu'aux sources du Jourdain, sont alignés d'une façon remarquable le long d'un axe parallèle à l'axe de dislocation du bassin. On y trouve, soit des filons bitumineux bréchiformes au milieu de calcaires, soit de véritables asphaltes imprégnés que nous n'en séparerons pas dans la description.

Noms des principaux gîtes. — Les gîtes que l'on rencontre en suivant la côte occidentale de la mer Morte et en remontant jusqu'aux sources du Jourdain sont ceux de : *Wady Sebbeh ; Wady Mahawat ; Nebi Musa ; Hasbeya.*

Entre Nebi Musa, situé à l'extrémité Nord-Ouest de la mer Morte et Hasbeya placé à l'extrémité septentrionale du bassin du Jour-

[1] Coll. École des Mines, 1827.

dain, d'autres gîtes bitumineux ont été signalés et principalement aux environs de Tibériade; mais ils n'ont été l'objet d'aucune étude spéciale.

Niveau géologique. — Les imprégnations bitumineuses se rencontrent toutes au milieu des calcaires crétacés. A Nebi Musa et Hasbeya, ces calcaires sont blancs tendres crayeux et renferment de nombreux fossiles, tels que : *peignes*, *baguettes d'oursins*, *débris de poissons*, *inocérames*.

Mode d'imprégnation. — Les gîtes sont généralement peu étendus et assez bien limités.

L'imprégnation cesse peu à peu à mesure que le calcaire devient plus argileux.

Les calcaires imprégnés, très riches en fossiles, sont tantôt bruns comme à *Hasbeya*, tantôt d'un beau noir comme à *Nebi Musa*. Exposés au soleil, ils perdent superficiellement leur coloration ; aussi, à la surface du sol, ne les distingue-t-on que par une légère coloration bleuâtre des marnes crayeuses blanchâtres qui les environnent et peuvent-ils quelquefois passer inaperçus.

Les calcaires, au voisinage des gîtes bitumineux, sont souvent sillonnés de nombreuses veines de gypse et renferment également du chlorure de sodium en faible proportion. Voici, comme exemple, l'analyse d'une portion calcaire dans un tuf sous-jacent à l'une des couches de calcaire bitumineux de Nebi Musa :

CaO, CO^2	92,53
MnO, CO^2	1,86
Fe^2O^3 et Al^2O^3	0,57
NaCl	1,82
Partie insoluble	1,08
Eau et pertes	2,14
	100,00

II. — DÉTAILS SUR LES DIVERS GITES

1° Gîte de Wady Sebbeh. — Ce gîte, peu important, est constitué par des calcaires dolomitiques imprégnés de bitume. M. Lartet qui l'a retrouvé le rapproche d'anciennes descriptions de Strabon sur des rochers distillant de la poix.

ɔrrent de Wady Sebbeh s'est frayé un passage à travers aires et l'on trouve fréquemment, en aval et dans le lit du , des fragments d'asphalte arrachés sans doute par les eaux caires bitumineux qu'elles traversent.

te de Wady Mahawat. — Ce gîte est situé non loin du in de Djebel Usdom et à 300 mètres environ de l'embou- du torrent Wady Mahawat. Le bitume y imprègne forte- s calcaires crétacés.
coule des fissures en retombant parfois sous forme de les stalactites.
lluvions anciennes adossées aux calcaires sont également nées de bitume et constituent de véritables *poudingues eux :*
i du reste une vue perspective du gîte (fig. 28) :

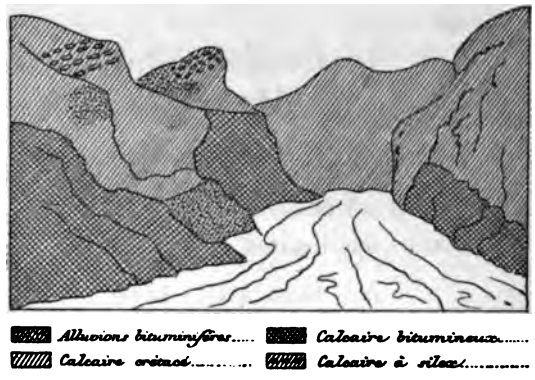


Fig. 28. — Vue perspective du gîte asphaltique de Wady Mahawat (mer Morte.)

ɔrrent de Wady Mahawat traverse le gîte et entraîne dans ıx des fragments de poudingue bitumineux adossé aux ɔs.

e de Nebi Musa. — C'est le plus étendu de tous.
présente à la surface sous forme de larges taches bleuâ- i correspondent à des calcaires bitumineux d'un beau ns la cassure.

Nous donnons ci-joint l'analyse de ces calcaires faite sur deux échantillons n'appartenant pas à la même couche :

Ca O, C O^2	68,73	82,10
Mg O, C O^2	0,27	0,00
Résidu terreux	6,00	3,90
Bitume	25,00	13.55
	100,00	100,00

Ces calcaires sont donc riches en bitume. Ils brûlent du reste avec une grande facilité et les Arabes s'en servent pour entretenir leurs feux.

4° Gîte de Hasbeya. — Situé à l'extrémité septentrionale du bassin du Jourdain, c'est le premier terme d'une série de gîtes absolument analogues à celui de Nebi Musa et se succédant le long de l'anti-Liban.

Le calcaire bitumineux d'Hasbeya est brun et moins riche que celui de Nebi Musa.

Il était autrefois, lors de la conquête égyptienne, le siège d'une exploitation régulière et l'on voit encore les restes d'une vingtaine de puits.

Les analyses suivantes sont celles : (1) du calcaire bitumineux; (2) du calcaire au point où cesse l'imprégnation ; (3) du calcaire à une certaine distance des limites de l'imprégnation :

Bitume	10,00	10,00	0,00
Matière insoluble	6,00	0,00	0,00
Ca O, C O^2	77,36	18,40	5,50
Mn O, C O^2	0,88	0.06	0,00
$Al^2 O^3$ et $Fe^2 O^3$	5,68	1,20	17,50
Si O^2	0,00	78,60	75,00

On peut constater ici l'influence appauvrissante de la silice sur l'étendue de l'imprégnation.

A 60 mètres de profondeur, on trouve une couche renfermant de l'asphalte particulièrement riche et dont voici l'analyse :

Bitume et matières volatiles	72,6
Charbon	14,0
Résidu terreux	13,4
	100,0

Cet asphalte est peu soluble dans l'alcool, plus complètement dans l'éther et presque entièrement dans l'essence de térébenthine.

5° En dehors de ces divers gisements, nous avons décrit plus haut, page 161, sous le nom de bitume de Judée, le bitume qui vient flotter sur la mer Morte et qui semble y être apporté par des sources thermales, débouchant au fond. Il est d'ailleurs impossible d'affirmer si ces sources empruntent leurs hydrocarbures aux gisements asphaltiques précédemment décrits ou si elles les puisent à la même origine profonde qui a contribué autrefois à former ces gisements.

Bibliographie.

1841. Robinson. — Dead Sea Asphalt. (*Biblical Researches*, 1841.)

1852. Lynck. — Dead Sea Asphalt. (*Official report of the v. S. exploration.*)

1866. Lartet. — Sur le mode d'arrivée de l'asphalte dans la mer Morte. (*B. S. G.*, t. XXIV, p. 12.)

1866. Lartet. — Sur les gites bitumineux de la Judée et de la Cœlésyrie. (*B. S. G.*, 2e, t. XXIV, p. 12.)

1867. Booth. — Dead Sea Asphalt. (*Lieut. Lynch's Report*, p. 185.)

1870. Lartet. — Essai sur la géologie de la Palestine, etc. (*Ann. des Sc. géol.*, t. I, p. 5.)

* 1877. Lartet. — Exploration géologique de la mer Morte. (Chez Arthur Bertrand, 332 pages.)

1889. Narcy. (*Bull. Ecole Min.*, p. 29.)

BITUMES DU KURDISTAN (Perse)

Les gîtes de bitume à allure sédimentaire sont plus rares que les gîtes filoniens. Nous pouvons cependant mentionner en Perse, aux environs de Zaho, dans le *Kurdistan*, des gisements signalés en 1875 par M. Mongel et décrits par lui sous le nom de bitume fossile.

Il s'agit d'une substance noire, un peu brillante, à cassure conchoïde, extrêmement riche en produits hydrogénés et qui a pu être employée avec succès pour le chauffage des chaudières.

Le bitume se présente en couches de 0,20 environ, séparées par des lits d'argile dont on ignore l'âge et paraît en relation avec des suintements de pétrole constatés dans les environs [1].

[1] 1875, Mongel. Note sur les gisements de bitume fossile des environs de Zaho (Kurdistan). *Ann. des Min.*, 1875, p. 85. — Cf. 1892, de Morgan : pétrole de Kondé Chirin (Perse). *Ann. d. M.*, 9e, t. I, p. 227.

En Amérique, nous trouvons, au voisinage de la Trinidad, le bitume du *Venezuela* interstratifié dans le pliocène, à Rio-Tara, au voisinage de sources de gaz inflammables et celui de *Colombie*, entre Escuque et Bellijoque.

En Europe, nous nous contenterons de décrire les bitumes de Selenitza, en Albanie, signalés par M. Coquand comme contemporains de couches pliocènes encaissantes[1].

GITES BITUMINEUX DE SELENITZA (ALBANIE)

Niveau géologique. — Les gîtes de bitume de Selenitza se trouvent au milieu de grès et de poudingues qui, en Albanie, constituent la partie supérieure du pliocène.

Voici une coupe relevée dans l'un des chantiers d'exploitation.

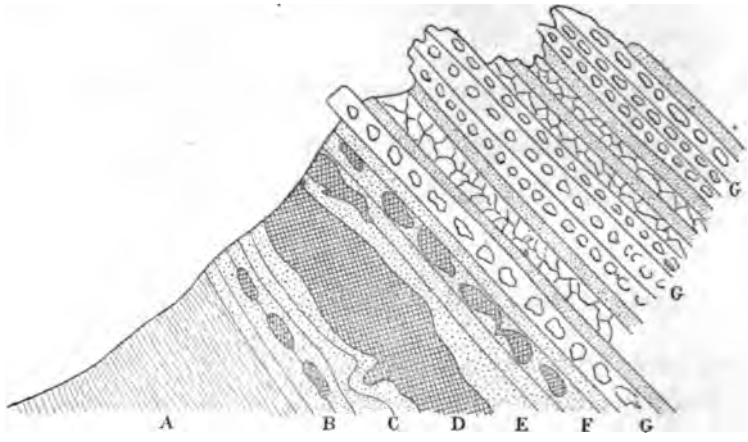


Fig. 29. — Selenitza. — Coupe verticale, d'après M. Coquand.

1° Argiles bleues inférieures *A*	90 mètres
2° Bancs de grès sableux *B* avec rognon des bitume	3 —
3° Sable jaune *C* avec cardium edule, Janira et Ostrea pseudo-edulis.	2 —
4° Grès *D* contenant les grands amas de bitume	45 —
5° Grès jaune *E* avec cardium edule	2,50 —
6° Alternances de grès et poudingues fossilifères *F* avec rognons de bitume	3,60 —
7° Poudingues et grès en bancs épais *G*	60

donnant la succession des assises qui constituent le pliocène et montrant les relations du bitume avec les roches encaissantes (fig. 29).

[1] 1867, Coquand (H.), Description géologique des gisements bituminifères et pétrolifères de Selenitza dans l'Albanie et de Chieri dans l'île de Zanta. *B. S. G. F.*, 2e, t. XXIV, p. 505.

Allure du gîte. — Le gîte se présente, au milieu des grès et des poudingues, sous forme d'*amas irréguliers* plus ou moins rapprochés les uns des autres, toujours parallèles au sens de la stratification et dont il est impossible de donner une définition générale, chaque dépôt différant, par son allure, du dépôt contigu.

On peut distinguer les cas suivants :

A. — Les amas sont *lenticulaires* et le gîte offre une série de renflements et d'étranglements successifs. C'est l'allure la plus fréquente et la coupe suivante, relevée dans un des chantiers d'abatage, en donnera une idée (fig. 30).

L'épaisseur des renflements atteint souvent 3 mètres.

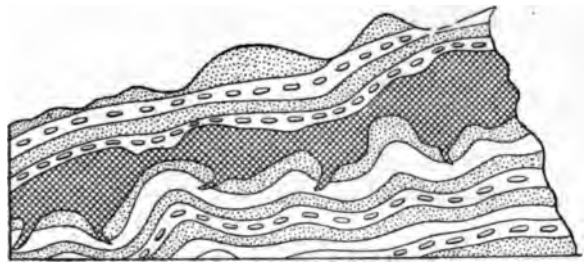


Fig. 30.

(Les grès, poudingues et amas bitumineux sont représentés par les mêmes figurés que sur la figure 29.)

B. — *Brèches bitumineuses.* — Le gîte consiste en couches plus ou moins puissantes d'argile grise renfermant des fragments de bitume rapprochés les uns des autres.

Le plus souvent, ces brèches bitumineuses surmontent les amas lenticulaires de bitume.

La forme des fragments de bitume est tantôt anguleuse; tantôt, mais plus rarement, sphéroïdale; en cassant les sphères de bitume, on constate que plusieurs d'entre elles sont formées de couches concentriques à la manière des pisolithes. Elles sont fort petites en général et leur diamètre dépasse rarement 6 millimètres.

Elles sont de plus extrêmement fragiles et présentent un aspect luisant et gras dans la cassure.

L'argile grise qui renferme le gîte est comprise entre les argiles

bleues et les grès et poudingues : c'est un des éléments pétrographiques importants de la série des couches tertiaires de la contrée.

C. — *Stockwerks bitumineux.* — Le gîte consiste en une infinité de filets formant des ramifications sans nombre dans l'argile grise. Cette argile, ainsi pénétrée, constitue un véritable stockwerk et l'on peut se rendre compte sur la coupe suivante (fig. 31) de la physionomie du gîte.

L'isolement de ces stockwerks, entièrement séparés des amas

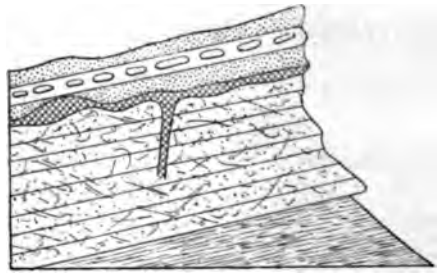


Fig. 31.

pleins du voisinage, et leur subordination au banc qui les contient ont fait supposer à M. Coquand que les argiles et le bitume se trouvaient fluides au moment de la formation du terrain et que, par conséquent, ils sont contemporains.

D. — Les amas sont *cupuliformes.* Le bitume remplit des dépressions en forme de coupes plus ou moins effilées, et le gîte se présente sous l'un ou l'autre des deux aspects suivants (fig. 32 et 33).

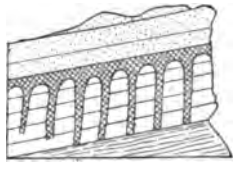


Fig. 32.

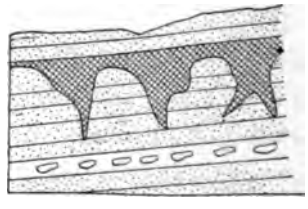


Fig. 33.

E. — Les amas sont *ellipsoïdaux.* — Le gîte forme des noyaux alignés les uns à la suite des autres et constamment parallèles au

plan des couches sur lesquelles ils reposent. Les noyaux atteignent la dimension d'un pain de munition.

F. — Enfin, pour terminer et donner une idée complète du gisement de Selenitza, voici deux coupes représentant : la première (fig. 34), un amas régulier contenant plusieurs nerfs de grès comme on en observe dans certaines couches de houille, et la deuxième (fig. 35), deux amas étirés et reliés par un mince filet de bitume.

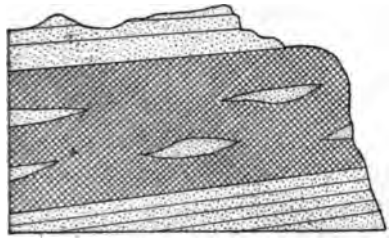


Fig. 34.

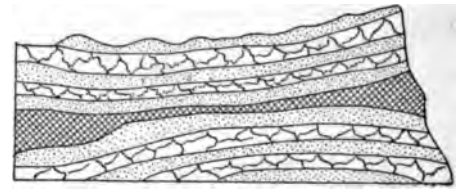


Fig. 35.

Mode de venue du bitume. — De l'étude des diverses allures du gisement il résulte, suivant M. Coquand, que les amas de bitume, malgré leur irrégularité, sont essentiellement subordonnés aux bancs qui les contiennent, et par suite *contemporains* de ces mêmes bancs.

On remarquera, de plus, que les ramifications et les appendices filoniens qui se détachent des masses principales de bitume sont toujours logés dans le mur de la couche ; d'où le même géologue conclut que la matière bitumineuse ne saurait avoir été injectée de bas en haut, mais qu'elle a été amenée à l'état fluide sur un plan horizontal pour pénétrer ensuite dans les fissures ouvertes au-dessous des réservoirs qu'elle avait remplis.

D'autre part, c'est à l'état de *bitume glutineux*, c'est à-dire de bitume privé de ses parties volatiles que la matière hydrocarburée est arrivée primitivement dans les terrains de Selenitza. On n'aperçoit, en effet, dans les masses compactes, aucune fissure, aucune vacuole attestant le passage ou l'emprisonnement de gaz avant leur entière solidification. En outre, la place qu'elles occupent au milieu des grès et des argiles est hermétiquement

remplie et on n'observe jamais, en concomitance avec elles, ces roches asphaltiques si abondantes dans les terrains à hydrocarbures liquides.

Nature du bitume de Selenitza. — Le bitume de Selenitza est compact et d'une très grande homogénéité.

Il est noir, brillant, à cassure résineuse ou largement conchoïde.

Il brûle très facilement, et laisse pour résidu un charbon léger, poreux et noir.

Il a fourni à l'analyse les résultats suivants :

Huile de pétrole	43
Charbon pouvant se convertir en coke	43
Résidu	14

SABLES BITUMINEUX DE L'AIN

Après avoir étudié les bitumes terreux, nous passons aux bitumes mélangés à une gangue sableuse et quartzeuse dont nous trouvons des types intéressants en France, dans le département de l'Ain[1]. Ces sables sont souvent associés avec des asphaltes dont nous dirons un mot en même temps.

Le département de l'Ain est géologiquement divisé en un certain nombre de bandes Nord-Sud, provenant des plissements jurassiques. Sur l'une de ces bandes parallèle au cours du Rhône au Sud de Bellegarde, les imprégnations bitumineuses sont extrêmement fréquentes, depuis la concession d'asphalte de Chézery au pied du Grand Crédo au Nord, en passant par les affleurements de sables bitumineux de Confort près Bellegarde, jusqu'aux asphaltes de Pyrimont-Seyssel, à ceux d'Orbagnoux et aux sables bitumineux des environs de Belley, au Sud.

Ces imprégnations bitumineuses se rencontrent là dans deux natures de terrains bien distinctes, des sables et des calcaires. Dans les sables, il y a simple mélange ; en sorte qu'un lessivage à l'eau chaude dissout le bitume ; dans le calcaire, il y a véritable

[1] Nous rappelons que précédemment, à l'occasion des pétroles allemands (page 139), nous avons décrit des sables bitumineux en Alsace.

imprégnation et formation d'un corps doué de propriétés toutes particulières qui est l'asphalte. D'ailleurs l'allure du gisement est très différente dans les sables et dans les calcaires. Dans les sables, particulièrement dans les mollasses tertiaires, les hydrocarbures, trouvant des couches perméables, se sont épanchés au loin avec une régularité relative; dans les calcaires, l'imprégnation bitumineuse est plus localisée. Dans l'un comme dans l'autre cas, l'arri-

Fig. 36. — Carte de la région bitumineuse de l'Ain.

vée du bitume paraît d'ailleurs nettement postérieure au dépôt du terrain dans lequel on le rencontre; car, entre autres preuves, lorsqu'on a plusieurs terrains superposés, le tertiaire par exemple au-dessus du jurassique à Seyssel, le bitume se trouve aussi bien dans l'un que dans l'autre. Cependant un géologue suisse, M. Jaccard, dans une étude récente sur l'origine de l'asphalte [1], a essayé de démontrer que le bitume de ces régions était uniquement le produit de la décomposition de caprotines urgoniennes : nous reviendrons sur cette idée à propos du gisement d'asphalte du val Travers.

[1] *Eclogæ Geologicæ helvetiæ.*

A partir du Nord, on trouve d'abord à Chézery et Forens (deux villages voisins sur les deux rives de la Valserine), deux concessions d'asphalte dont les produits portent également la marque Forens-Seyssel (Nord ou Sud).

La concession de *Chézery* (Forens Nord) est seule un peu exploitée. Elle occupe quelques ouvriers et traite ses produits dans une petite usine (près de Chatillon de Michaille). La production, en 1887 et 1888, a été de 1 450 tonnes.

Au Sud de Chézery, au-dessus du village de *Confort*, auprès de quelques maisons nommées Boge, sur le flanc du Crédo, nous avons eu l'occasion d'aller visiter des recherches de sables bitumineux. Il existe en ce point, dans un synclinal très redressé du calcaire urgonien, un lambeau de mollasse marine à l'état de sables verts plus ou moins foncés que le bitume imprègne très irrégulièrement en suintant parfois à l'état liquide de certaines fissures.

Si nous continuons toujours vers le Sud, nous trouvons, au voisinage de Pyrimont, sur les deux rives du Rhône, l'importante mine de *Seyssel* que nous décrirons plus loin lorsque nous parlerons des asphaltes. Disons seulement de suite qu'en dehors des asphaltes jurassiques, on y rencontre des sables verts mollassiques imprégnés de bitume. Ces sables, comme nous le verrons, semblent pouvoir permettre de préciser l'âge des venues bitumineuses et de montrer qu'elles se sont probablement produites en plusieurs fois.

En face Seyssel, se trouve la concession de calcaires kimméridgiens et sables bitumineux d'*Orbagnoux* où l'on a fait quelques travaux, intéressants surtout par la quantité de plantes et poissons jurassiques qu'ils ont fournis, mais qu'on a dû bientôt abandonner.

Du même côté, à *Corbonod* et plus au Sud, à *Anglefort*, il y a eu, à diverses reprises, des recherches sur des calcaires bitumineux du même niveau et des demandes de concession [1].

D'une façon générale, l'étage kimméridgien est très développé dans le *Bugey* et y acquiert une grande puissance (150 à 200 mètres).

[1] Rapports de service de M. Delafond, Ingénieur en chef des Mines ; Notes de voyage de l'auteur en 1889.

Il présente à sa partie supérieure des assises de calcaires fissiles qui offrent des caractères remarquables :

Tantôt ce sont des calcaires durs à grain fin et serré, se divisant en dalles minces. Ils ont été exploités pour pierres lithographiques à Marchampt et à Ordonnaz ; tantôt, au contraire, ils se divisent en feuillets très minces, affectent la texture schisteuse et se chargent de matières bitumineuses qui ne les imprègnent pas (à cause probablement de leur manque de porosité), de manière à pouvoir donner des asphaltes, mais leur sont simplement mélangées.

La teneur en bitume est très variable : 4 p. 100 à Anglefort et sur le plateau de Chatillon de Michaille ; 8 p. 100 à Orbagnoux et à Saint-Champ-Chatonod.

Dans ce dernier gisement, les calcaires bitumineux sont généralement rubanés de bandes allant du jaune au brun foncé.

On a essayé de les exploiter pour en extraire des huiles, soit éclairantes, soit insecticides.

HYDROCARBURES IMPRÉGNANT DES SCHISTES ET DES CALCAIRES

I. — SCHISTES BITUMINEUX. — II. — ASPHALTES

I. — SCHISTES BITUMINEUX

(PYROSCHISTES ET NAPHTOSCHISTES)

Usages. — Au point de vue purement chimique, on peut distinguer les schistes bitumineux proprement dits renfermant des bitumes tout formés qui s'en écoulent naturellement ou qu'on en extrait en les traitant par la benzine, des pyroschistes ou naphtoschistes qui sont des schistes imprégnés d'une substance carburée donnant, par la distillation, un goudron d'aspect plus ou moins analogue au bitume. Dans l'usage courant, ces derniers prennent aussi le nom de schistes bitumineux : par exemple en France, à Autun, Buxière, Menat; en Allemagne, au Mansfeld ; en Carniole, à Idria, et c'est d'eux surtout que nous nous occuperons.

Ces pyroschistes sont souvent imprégnés de sulfures métalliques divers, contemporains de leur dépôt, qui nous semblent une raison pour ne pas les considérer toujours comme un simple résidu de décomposition organique ; et c'est alors parfois pour en retirer les métaux (cuivre au Mansfeld, mercure à Idria), qu'on les exploite. En général, on a surtout pour but d'en extraire par la distillation une huile d'éclairage analogue au pétrole. Le rendement en huile des divers schistes est très variable ; les bogheads d'Ecosse donnent jusqu'à 56 p. 100 d'huile brute ; ceux du Dorsetshire 22 p. 100 ; à Autun, on n'obtient, dans la grande couche, que 7 à 8 p. 100 et, à Buxière (Allier), 5 à 7 p. 100 en volume.

Les premiers essais pour obtenir de l'huile de schistes furent faits en 1830 par Laurent de Reichenbach ; Selligue, en 1839, aboutit le premier à Autun à un résultat pratique ; puis Young distilla en grand les bogheads de la Nouvelle-Ecosse ; une industrie semblable s'établit, en 1856, à Weissenfels ; en 1858, on commença à exploiter le bassin de Buxière et, en 1862, celui d'Autun.

Cette industrie, qui eut d'abord son époque de prospérité, fut bientôt atteinte par la découverte du pétrole d'Amérique, puis par celle du pétrole du Caucase ; aujourd'hui, en France, elle ne vit que grâce à des droits protecteurs, assez péniblement.

Le *traitement* comprend toujours deux opérations essentielles : une distillation des schistes produisant l'huile brute et une rectification donnant les diverses huiles d'éclairage ; nous commencerons par en dire quelques mots.

La distillation se fait en général dans des cornues verticales où le schiste lui-même, après distillation, fournit en brûlant la chaleur nécessaire pour la distillation d'une charge nouvelle ; les cornues tournantes, qu'on avait beaucoup préconisées un moment, ont été abandonnées.

L'opération donne d'abord des eaux plus ou moins ammoniacales, puis des gaz incondensables et enfin de l'huile brute ayant pour densité moyenne 860 à 890.

Ces huiles brutes à leur tour donnent, par des distillations successives, avec traitement à l'acide sulfurique et à la soude, les produits suivants par hectolitre :

BUXIÈRE		AUTUN	
28 à 30 p. 100 d'huile lampante à 25 fr. . . . . =	7.50	42 p. 100 huile légère à 820.	
40 p. 100 d'huile à gaz (850) à 14 fr. . . . =	5.60	4,30 p. 100 huile blonde à 885 gr.	
20 p. 100 de goudron à 5 fr. =	1.00	Bas produits : 5,50 p. 100 : Résidus.	
12 à 20 p. 100 de perte (gaz combustibles, etc.).		19,60 p. 100 : Huile verte.	
		13,80 p. 100 : Goudron.	
		14 p. 100 perte.	
	14.10		

Les chiffres précédents donnent une idée approximative des prix de vente des divers produits ; les *frais*, dans le bassin de Buxière, sont environ les suivants par hectolitre d'huile brute :

Extraction.	Salaires	5.40	9.10
	Achats divers, chevaux	2.10	
	Travaux de premier établissement .	1.00	
	Frais de bureau	0.60	
1re distillation.	Salaires d'ouvriers	1.35	2.20
	Entretien et réparation des cornues.	0.85	

chiffres auquel il convient d'ajouter, pour la rectification :

	Main-d'œuvre	0.255
7 k. 78	Acide sulfurique à 18 francs le quintal . . .	1.40
2 k. 52	Soude à 30 francs le quintal.	0.755
		2.410

ce qui donne un prix de revient total de 13 fr. 70.

En dehors de l'huile d'éclairage et de l'huile à graisser, le schiste fournit un goudron qui trouve son emploi dans la fabrication des mastics asphaltiques comme addition au bitume de la Trinidad ; de leur côté, les bogheads produisent un bon gaz d'éclairage.

Gisements. — Les schistes bitumineux sont exploités en France en deux centres principaux : Autun (Saône-et-Loire) et Buxière (Allier), tous deux dans le permien ; on en connaît en outre en quelques autres points : dans le houiller de Bozon, près Fréjus [1] : dans le lias de Chatillon, près Besançon, et des environs de Vesoul ; dans le tertiaire de Menat (Puy-de-Dôme).

[1] Les mines de Bozon (Var) ont donné, en 1889, 5 400 tonnes de schistes ; en 1890, 2 700 tonnes.

A l'étranger, il y a lieu de mentionner les pyroschistes du silurien supérieur de la rivière Hudson (groupe d'Utica) ; les schistes dévoniens de Bossanquet (Canada) donnant 4, 2 p. 100 d'huile ; surtout, les bogheads du terrain houiller d'Ecosse exploités à Boghead, Bathvale, Torbane hill ; les couches analogues de la mine Fraser et de Hillsborough en Nouvelle-Ecosse ; les lignites bitumineux de Weissenfels, en Saxe, etc.

Ces divers gisements sont nettement sédimentaires et, contrairement à ce que nous avons dit pour les pétroles, asphaltes, etc., leur imprégnation est certainement contemporaine du dépôt. Nous les décrirons donc dans l'ordre des étages géologiques où on les rencontre.

Au point de vue industriel, la production a été dans ces dernières années :

	BASSIN DE BUXIÈRE	BASSIN D'AUTUN	
	Schistes.	Schistes bitumineux.	Boghead.
1884	41,978 tonnes	133,458 tonnes	4,672
1885	56,743 —	115,554 —	4,192
1886	45,444 —	116,763 —	6,311
1887	41,000	118,273 —	6,463
1888	40,700	123,289 —	8,789
1889	45,000	135,000 —	8,810
1890	51,000	147,000 —	8,958

SCHISTES BITUMINEUX SILURIENS DE L'AMÉRIQUE DU NORD

Il existe dans la formation d'Utica (silurien inférieur), sur les bords de la rivière Hudson et sur le lac Huron, des pyroschistes contenant des graptolites. Leur analyse a donné :

Argile et sable.	Albumine et oxyde de fer.	Carbonate de chaux.	Carbons, Hydrogène et Oxygène.
			C — 15
73	2	2	H — 1.60
			O — 5.30

D'après le professeur Whitney, les hydrocarbures y proviendraient des graptolites (?). Peut-être existe-t-il quelque rapport entre ces couches et les nappes de pétrole à fragments organiques, exploitées dans le Canada à peu près au même niveau ?

BOGHEADS ET CANNELCOALS DU TERRAIN HOUILLER[1]

On appelle *boghead* un schiste noir, terne, laissant à la calcination moins de matières terreuses que la plupart des schistes et plus riche en goudron que le charbon.

On en rencontre dans le terrain houiller d'Ecosse à Boghead, à Bathvale, Torbane hill (d'où son nom local de torbanite), etc...

Des bogheads analogues se présentent dans le houiller des mines Fraser et de Hillsborough, en Nouvelle-Ecosse.

A Commentry (Allier), M. Fayol leur a assimilé des parties de la grande couche de houille ayant pour composition :

Cendres.	Résidu (déduction faite des cendres.)
50	33
25	47

En examinant ces Bogheads de Commentry au microscope, M. Renault a reconnu qu'ils étaient formés d'une multitude de très petites lentilles, différentes de forme et de grandeur, beaucoup plus transparentes que les bandes qui les séparent et assimilables à des spores :

« Dans l'intérieur des lentilles, on distingue des linéaments très grêles, rayonnant de quelques centres, se dichotomisant plusieurs fois de suite ; les ramifications viennent se perdre à la périphérie au milieu de fines granulations qui ressemblent à des spores ; on dirait avoir affaire à de nombreux mycéliums moulés en une résine peu colorée. »

Les huiles extraites du boghead par la distillation sont formées en majeure partie de carbures saturés.

Lorsque la matière terreuse s'abaisse jusqu'à la proportion des cendres d'une houille ordinaire, le boghead prend le nom de *cannelcoal* (corruption du mot candel-coal, houille à chandelles), à cause de sa propriété de s'enflammer et de brûler comme une bougie.

[1] Voir Narcy, *loc. cit.*, p. 118. — Coll. École des Mines, 1831 et 1832.

Les cannelcoals de Commentry contiennent :

Cendres.	Résidu (déduction faite des cendres.)
12	52
7	58

Ces cannelcoals, examinés au microscope, apparaissent sous forme d'une résine brune tenant en suspension des débris noirs organiques ou inorganiques, parmi lesquels abondent des parties végétales.

Le cannelcoal du Lancashire contient, d'après Regnault :

C	H	Az
85,81	5,85	8,34

On peut en extraire un goudron dont on tire des benzols, de la naphtaline et de l'anthracène.

SCHISTES BITUMINEUX D'AUTUN
(SAONE-ET-LOIRE)[1]

Le bassin houiller et permien d'Autun a grossièrement la forme d'un triangle irrégulier dont la base serait une ligne de 32 kilomètres de long allant d'Epinac par Autun à Verrière et dont le sommet serait situé près d'Igornay (la hauteur ayant environ 10 kilomètres). La superficie totale est approximativement de 246 kilomètres carrés.

Le bassin est complètement fermé par une ceinture de terrains anciens, au milieu desquels il forme une vaste dépression assez plate.

Ces terrains sont, sur presque toute la bordure Nord, des orthophyres et tufs orthophyriques du Culm auxquels sont associés, au Nord-Ouest vers Tavernay, quelques gîtes de charbons anthraciteux. A l'Ouest, apparaît en outre, vers la Selle, un massif de granulite à deux micas percé de microgranulite. Sur la bordure Sud, on trouve, à l'Ouest d'Autun, de la granulite ; à l'Est, des gneiss plus ou moins granulitisés.

Les terrains qui se sont déposés dans cette cuvette ancienne sont le houiller et le permien constitués de la manière suivante :

[1] Coll, École des Mines, 1727.

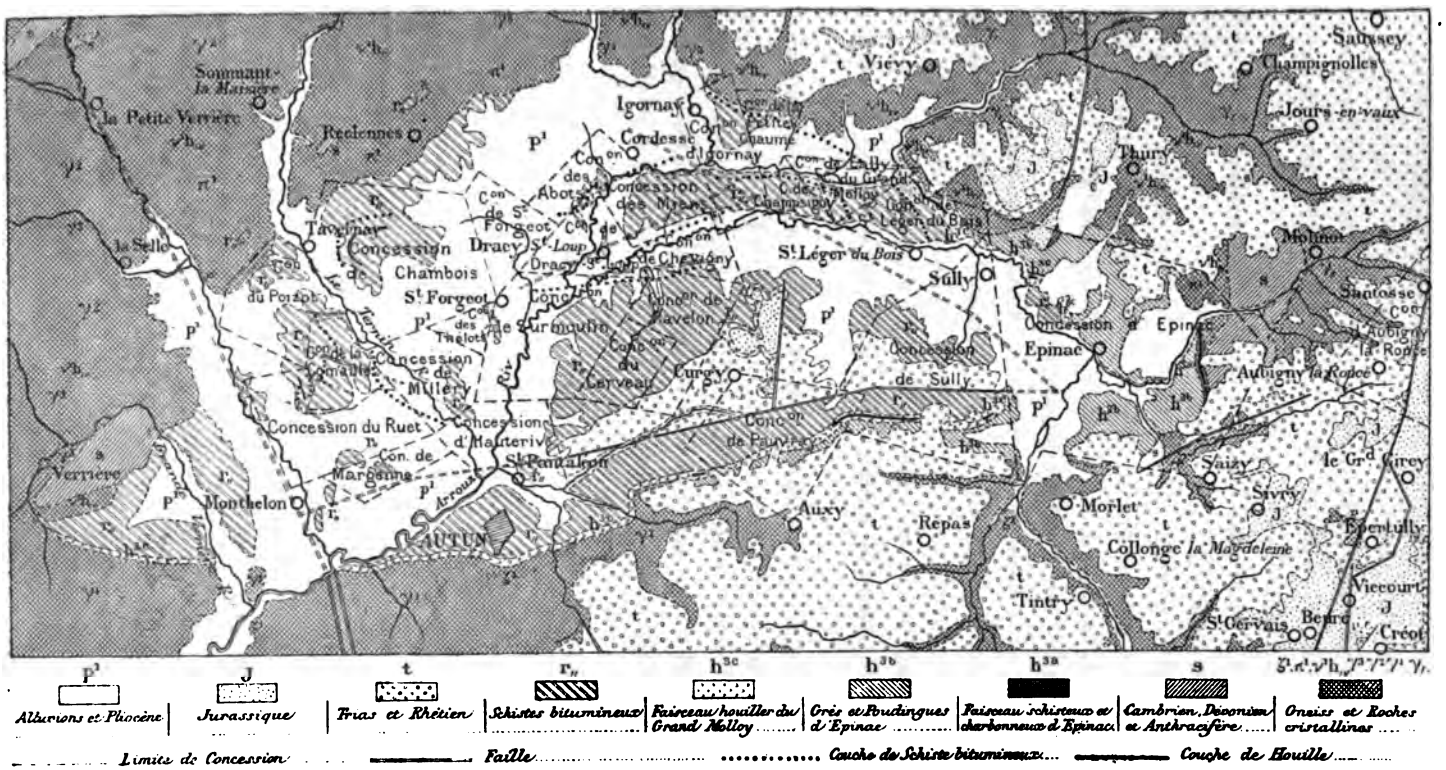


Fig. 37. — Carte géologique du bassin d'Autun, d'après M. Delafond.

1° Le *houiller* est formé de trois étages ayant débordé par transgressivité l'un sur l'autre ;

A. L'étage inférieur, assez ancien (intermédiaire entre les couches de Rive-de-Gier et celles de Saint-Etienne) ayant fourni la houille d'Epinac et localisé à l'Est du bassin ;

B. L'étage moyen stérile des grès et poudingues avançant un peu plus vers l'Ouest;

C. L'étage supérieur peu épais du Molloy correspondant à la partie tout à fait supérieure du houiller (étage des Calamodendrées de la Loire), très discordant avec le précédent et représenté jusque dans le Sud-Ouest du bassin.

M. Delafond a montré comment le bassin de roches anciennes avait dû, pendant le dépôt de ces terrains, subir un approfondissement progressif, une accentuation de son allure première (d'abord en se creusant, puis en se rétrécissant) que l'on peut observer dans la plupart des bassins houillers du plateau central.

Postérieurement à sa formation et même à celle du permien, d'autres mouvements, continués toujours dans le même sens, ont eu pour effet d'y produire des plissements et des étirements comme si ces couches s'étaient moulées sous pression sur les roches anciennes, tandis que les formations plus superficielles du permien subissaient de grandes cassures et des failles.

Le *permien* d'Autun présente deux subdivisions principales dont la première est de beaucoup la plus développée : les schistes bitumineux et les grès rouges. Les schistes bitumineux comprennent eux-mêmes trois étages :

A. L'*étage inférieur ou étage d'Igornay-Lally* (du nom de deux concessions au Nord-Est) est déjà assez nettement permien par sa faune, ses calcaires magnésiens et ses épaisses couches de schistes bitumineux ; mais sa flore renferme encore, pour la plus grande partie, des espèces houillères et l'apparition des *Callipteris* seule lui donne une tendance permienne.

A la base, est une formation schisteuse qui à environ 75 mètres d'épaisseur et renferme trois bancs bitumineux exploités, fournissant une huile moins lourde (0,855 en moyenne) que celle des autres niveaux. A Igornay, ces couches ont :

La supérieure : 3 mètres d'épaisseur avec un rendement en huile brute de 4,50 p. 100 en volume [1] ;

La couche n° 2 (séparée de la précédente par 2^m,50 de stérile) ; 1^m,80 d'épaisseur, rendement 4,25 p. 100.

La couche n° 3 (séparée de la précédente par 3^m,50 de stérile); 7 mètres d'épaisseur, dont 2^m,50 exploités ; rendement : 3,75 p. 100.

On trouve, associés à ces schistes, des calcaires magnésiens contenant parfois de petites coquilles d'eau douce. La faune d'Igornay, étudiée par M. Gaudry, a fourni :

Poissons : Paleoniscus Blainvillei ; Pal. Voltzi ; Pal. angustus ; Pygopterus Bonnardi ; Megapleuron Rochei ; Pleurachantus Frossardi ; Achantodes ;

Reptiles : Actinodon Frossardi, Euchirosaurus Rochei, Stereoachis dominans, Protritron Petrolei.

Au-dessus de ces schistes de la base et séparée d'eux par des grès et poudingues, est une autre petite couche de schistes utilisée jadis à Lally et à Champsigny.

On exploite à cet étage les concessions d'Igornay, Lally, Saint-Léger-du-Bois.

B. L'*étage moyen ou de la Comaille-Chambois* est une importante formation de grès, comprenant à sa base la couche de schistes bitumineux la plus importante de l'Autunois, dite « grande couche » et, dans les parties moyenne et supérieure, diverses petites couches de schistes bitumineux et une couche de houille.

La flore de cet étage est nettement permienne. On y rencontre une grande abondance de bois silicifiés étudiés par M. Renault, et on y a trouvé également, au milieu d'une faune très riche analogue à celle de l'étage inférieur, le premier mollusque terrestre signalé dans les terrains houillers ou permiens d'Europe : Pupa Walchiarum (Fischer).

La composition de la grande couche est la suivante à la Comaille :

Schistes bitumineux (Banc du toit appelé *couronne*).	0^m,70. — Rendement : 4,5 à 5 p. 100.
Barre blanche argileuse	0^m,03.

[1] Soit 45 litres d'huile brute par mètre cube de minerai chargé en cornue.

Schistes bitumineux (Banc dit *banc carré*)	0^m,27. — Rendement : 8,5 à 9 p. 100.
Barre blanche argileuse	0^m,01.
Schistes bitumineux (Banc dit de *demi-couronne*).	0^m,65. — Rendement : 6,5 à 7,5 p. 100.
Barre blanche argileuse	0^m,01.
Schistes bitumineux (Banc dit *banc de pied*).	0^m,75. — Rendement : 5,5 à 6 p. 100.
Banc de havage (schistes stériles). . .	0^m,10.

100 kilogrammes de minerai de la grande couche donnent, paraît-il, 17 à 18 mètres cubes de gaz d'éclairage comparable au gaz de houille.

Les concessions exploitées à cet étage sont celles du Ruet, de la Comaille, du Poisot, de Dracy-Saint-Loup, Les Abots, Saint-Forgeot, Chevigny, Ravelon, etc...

C. L'*étage supérieur ou de Millery*, essentiellement schisteux, renferme de nombreuses petites couches de schistes bitumineux et une couche de boghead exploitée. Cet étage est encore plus riche que le précédent en bois silicifiés (Champs de la Justice et des Borgis).

La couche de boghead, qui a environ 0,25 d'épaisseur, est exclusivement employée à la fabrication du gaz d'éclairage. La densité varie de 1,30 à 1,44 ; la teneur en cendre est comprise entre 35 et 48 p. 100. La composition élémentaire est la suivante :

C	H	O et Az.
80	10	10

Un mètre cube de boghead donne, par la distillation, 480 à 500 mètres cubes de gaz ayant un pouvoir éclairant égal à deux fois au moins celui du gaz de houille.

On exploite, au contact du boghead, quelques schistes bitumineux.

Les concessions situées sur cet étage sont : Millery, les Thélots, Surmoulin, Hauterive, etc...

Enfin les schistes bitumineux sont recouverts en discordance, du côté de Curgy, au centre du bassin, par les grès rouges.

Au point de vue industriel, les schistes bitumineux de ce bassin n'ont été jusqu'ici exploités que par des travaux superficiels dont la profondeur ne dépasse pas 60 mètres. Nous avons donné plus haut la production de ces dernières années. Les tableaux suivants

ıt les propriétés des schistes extraits des diverses conces-

COMPOSITION DES HUILES

ANCES DES SCHISTES	PESANTEUR SPÉCIFIQUE	PRODUITS DE LA DISTILLATION de 1 kilog. de schistes				PESANTEURS spécifiques		Perte de poids par distillation de 100 parties	Après distillation, perte par calcination à l'air
		Huile liquide centimètres cubes	Goudron et huiles épaisses centimètres cubes	Eau ammoniacale centimètres cubes	Gaz, litre à 0° pression 760 m/m	Huile liquide	Eau ammoniacale		
. . . . .	2,09	78	8	76	53	0,847	1,011	20,4	13,3 11,1
ınne	1,95	56	»	67	Plus de 51	0,862	1,016	20,4	12,4 12,9
. . . . .	1,96 1,99 2,00	64	2	86	73	0,901	1,014	22,6	13,3 14,7 11,3
e.	1,73	83	8	82	Plus de 69	0,857	1,015	23,2	21,9 23,9
. . . . .	1,95	53	»	76	60	0,877	1,012	18,2	10,2 7,6
ıaille	2,06	65	3	87	Plus de 47	0,880	1,009	»	8,7 8,6
(schiste gris)	2 01	82	15	29	120	0,879	1,017	28,0	4,7 6,3
(boghead).	1,20	488	20	10	133	0,854	»	61,1	14,0 12,1 11,1

NATURE DES HUILES

DES MINES d'où ıt les échantillons	PAR 100 PARTIES de matières brutes			QUANTITÉ de carbone non volatilisé par 100 parties que laisse la calcination	PLOMB obtenu par fusion avec litharge	
	Matières volatilisées (*a*)	Carbone non volatilisé (*a*)	Résidu fixe (*a*)	—	Avec une partie de poudre calcinée (*b*)	Avec une partie de poudre brute (*b*)
	1	2	3	4	5	6
/.	22,05	7,52	70,43	9,65	2,60	6,08
. . . . .	22,75	5,75	71,50	7,44	2,52	5,15
Saint-Loup . .	27,53	9,33	63,14	12,87	5,13	7,71
ots.	34,20	19,53	46,27	29,67	10,80	14,26
ıaille.	26,35	9,87	63,78	13,40	4,26	8,37
t.	19,74	6,16	74,10	8,31	»	»
(schiste gris).	30,07	1,89	68,04	2,63	»	»
. . . . .	19,35	»	»	»	»	»
(Boghead). .	68,82	»	»	»	»	»

ation. — Il est aisé de voir col. (*a*) 1, qu'il n'est retiré industriellement qu'une partie ıt des huiles renfermées dans les schistes ;
carbone (en forte proportion), qui reste dans les résidus, peut être avantageusement à chauffer les cornues.

Bibliographie de l'Autunois.

1841. Elie de Beaumont et Dufrénoy. — Explication de la carte géologique de la France, t. I, p. 669 à 683.

1844. Manès. — Mémoire sur les bassins houillers de Saône-et-Loire.

1847. Manès. — Statistique minéralogique du département de Saône-et-Loire.

1848. Virlet d'Aoust. — Remarques sur les schistes bitumineux d'Autun. (*B. S. G.*, 2e, t. V, p. 369.)

1850. Lorière. — Les schistes bitumineux d'Autun classés dans le houiller. (*B. S. G.*, 2e, t. VIII, p. 144.)

1867. Simonin. — Industrie der Mineral öle in Frankreich. (*Mon. scient.*, 1867, p. 599; *London Chemical News*, 1867, p. 313.)

1868. Tournaire. — De l'industrie des huiles de schiste dans l'Autunois. (*Ann. d. M.*, 6e, t. XX, p. 429.)

* 1868. Chosson. — De la situation de l'industrie des schistes bitumineux du bassin d'Autun. (*Ann. d. M.*, 6e, t. XX, p. 347.)

1880. Aymard. — Comptes rendus de la Société de l'industrie minérale, p. 171.

1881. Feuille au $\frac{1}{80.000}$ d'Autun par MM. Michel Lévy et Delafond.

1883. Feuille au $\frac{1}{80.000}$ de Château-Chinon, par les mêmes.

— Bulletin de la Société d'histoire naturelle d'Autun; *passim*.

— Gaudry. — Mémoires paléontologiques divers.

* 1890. Michel Lévy, Delafond, Zeiller et Renault. — Bassin houiller et permien d'Autun et d'Epinac.

SCHISTES BITUMINEUX DE BUXIÈRE (ALLIER)[1]

Le terrain permien de Buxière, situé dans le département de l'Allier, au Nord du plateau central, s'est déposé dans deux estuaires allongés, séparés par une chaîne gneissique et encaissés entre des roches primitives : estuaires grossièrement parallèles à l'allongement du bassin d'Autun, c'est-à-dire à la direction générale des accidents du Morvan.

Il commence, à la base, par l'étage des schistes bitumineux, très analogue encore au houiller par sa flore aussi bien que par ses caractères minéralogiques, mais beaucoup plus régulièrement stratifié. Là on trouve des grès rouillés avec des schistes noirâtres, un

[1] Coll. École des Mines, 1829.

au de houille presque immédiatement surmonté par des
tes bitumineux exploités et, à la partie supérieure, des grès et
tes noirâtres avec des bancs de silex noirs et des calcaires
es très caractéristiques.

1-dessus, commence l'étage des grès de Bourbon formé de
blancs avec argiles bariolées rouges et vertes, où l'on ren-
e seulement un lit très mince de schistes bitumineux flexibles
n arrive à l'étage des grès rouges très peu développé dans
région.

s silex de l'étage des schistes bitumineux sont souvent riches
débris de plantes ; on trouve, en outre, dans les schistes eux-
es, de très nombreux poissons : Onchus simplex, Hybodus,
dus, Achantodes, Conchopoma, Elonichtys, Amblypterus
ssei et, dans des grès au voisinage de Souvigny, des fragments
ptiles comparables à l'Actinodon Frossardi.

s *travaux d'exploitation* portent sur les deux centres princi-
de Buxière, à l'Ouest, et de Saint-Hilaire, à l'Est. La coupe
chistes exploités est la suivante :

A BUXIÈRE

Grosse couche	0,78	2,65
Stérile	0,37	
Schistes bitumineux	0,17	
Grès schisteux	0,60	
Schiste stérile	0,18	
Couche riche en poissons	0,18	

A SAINT-HILAIRE

Schiste feuilleté (dit les *Colles*)	0,15	1,80
Gros banc (dit le *Méchant*)	0,80	
Banc avec écailles de poissons	0,20	
Banc (dit la *Riffle*)	0,35	
Havage (matières stériles)	0,30	

1 point de vue théorique, on peut remarquer que les poissons
tout particulièrement abondants dans une couche inférieure
pauvre en bitume pour être exploitée, tandis qu'on n'en trouve
e que des écailles disséminées dans les schistes utilisables.

distillation se fait dans trois usines, savoir : celles des Pla-
es pour les concessions des Plamores et de la Sarcelière; celle

des Justices pour les concessions de Buxière et de la Courolle, celle de Saint-Hilaire pour Saint-Hilaire.

Le rendement en huile brute varie, comme nous l'avons dit, entre 5 et 7 p. 100 (en volume).

Bibliographie de Buxière.

1844. Boulanger. — Statistique géologique de l'Allier.
1870. Jaffre (Jules). — Recherches sur les huiles minérales de Buxière. (*B. S. C. P.*, XIX, n° 12.)
1888. De Launay. Terrain permien de l'Allier. (B. S. G., 3e série, t. XVI, p. 298.)
— — Schistes bitumineux de Buxière. (*Revue scientifique du Bourbonnais.*)
— — Réunion extraordinaire de la Société géologique dans 'Allier. (*B. S. G.*)

ALLEMAGNE (SAXE, MANSFELD)

Les schistes bitumineux que nous venons d'étudier en France se retrouvent également dans le permien allemand, mais, en général, à un niveau un peu plus élevé, supérieur au rothliegendes (c'est-à-dire aux grès rouges de l'Autunois) et correspondant au contraire aux schistes de Lodève, base du Zechstein, comme le montre le tableau suivant, emprunté à M. de Lapparent :

ALLEMAGNE	FRANCE	RUSSIE
Zechstein.		
Schiste cuivreux.	Schistes de Lodève.	Grès cuprifère.
Rothliegendes.	Grès rouges de l'Autunois.	Grès rouge de Perm.
Bassins de Rakonitz et de Weissig.	Schistes d'Autun.	Calcaire de Timan.

Cependant le niveau des schistes de l'Autunois (bassins de Rakonitz et Weissig) comprend également des schistes bitumineux.

En Bohême et en Saxe, les bassins houillers de Pilsen, Kladno, Rakonitz et Weissig montrent, comme ceux d'Autun et de Buxière, le passage progressif de l'étage houiller à l'étage permien. A Weissig, des schistes bitumineux contiennent des plantes du houiller associées à des plantes du grès rouge.

Dans le Mansfeld, comme on sait, le permien comprend deux

termes essentiels (d'où son nom de dyas) : le grès rouge d'eau douce et, au-dessus, le zechstein marin. La base de ce zechstein que nous étudierons à propos du cuivre comprend une couche de schistes bitumineux cuprifères contenant : chalcopyrite, phillipsite, chalcosine, cuivre natif avec argent, etc., et est très riche en poissons.

SCHISTES BITUMINEUX DU LIAS

Le *lias* supérieur contient assez fréquemment en France des couches hydrocarburées; c'est dans les marnes à Posidonies que se trouve, aux environs de Grenoble, une fontaine brûlante. Les couches à poissons ont été signalées en divers points (Saint-Amand, (Cher[1]), etc...); Elie de Beaumont avait même émis l'opinion qu'on pourrait utiliser certains schistes liasiques comme ceux du permien. A Châtillon, près de Besançon, et aux environs de Vesoul, on en a employé comme engrais à cause d'une certaine proportion d'acide phosphorique et de potasse qu'ils contiennent.

Le même niveau se retrouve en grande abondance près de *Reutlingen*, dans le Wurtemberg, où on l'exploite pour le distiller[2]. L'analyse de ces schistes a donné :

Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	Nao + KO	SO^2	SiO^2	CO^2	C	H	PhO^5
6,848	7,294	16,224	0,957	5,750	27,02	6,869	14,88	10,5	2,2	0,54

SCHISTES DE MENAT
(PUY-DE-DOME)[3]

Dans le *tertiaire*, nous nous contenterons d'étudier les schistes de *Menat* (Puy-de-Dôme).

Il existe à Menat (Puy-de-Dôme) une dépression circulaire d'environ un kilomètre de diamètre située au milieu des micaschistes, à une grande distance du tertiaire de la Limagne et remplie par

[1] Dagincourt, *B. S. G.*, 3e série, t. VIII, p. 355, 1880.

[2] Dans le Banat, on extrait également de l'huile minérale des schistes liasiques de Steierdorf. Vers 1880, cette industrie avait pris un grand développement sous la direction de M. Linder, Inspecteur général des Mines.

[3] Coll. École des Mines, 1830.

des dépôts de l'âge du miocène supérieur, dépôts bien connus des géologues pour la flore et la faune qu'on y a rencontrées.

Ces dépôts, qui semblent résulter du remplissage indépendant d'un petit lac restreint, débutent par un conglomérat de micaschistes à ciment argileux, au-dessus duquel viennent les schistes exploités.

Ces schistes brun noirâtre, qui se divisent en feuillets extrêmement minces dès qu'on les expose à l'air, sont tendres et à grain fin. Leur composition est la suivante :

Cendres	62,35
Eau ammoniacale	9,00
Huiles brutes et produits solides	5,00
Gaz et matières non condensées	11,30
Charbon	12,35

Le schiste, qui prend feu spontanément, donne, lorsqu'on le calcine en cornues, du noir utilisé pour les mêmes emplois que le noir animal.

En le chauffant à l'air libre, on obtient, au contraire, des cendres essentiellement formées de silice soluble dans la potasse, que le microscope montre composée elle-même de carapaces d'infusoires et qui sont vendues comme *tripoli*.

Il est certain qu'il s'est produit, dans ce petit bassin, une accumulation de matières organiques, feuilles, infusoires et poissons, qui peut suffire pour expliquer la proportion de carbures emmagasinés dans ces terrains. Ces restes se présentent souvent avec un degré de conservation remarquable ; et il n'est pas rare de trouver, non des empreintes de feuilles, mais des feuilles se détachant du schiste avec leur tissu encore presque intact.

Bibliographie.

1829. Lecoq. — Description géologique du bassin de Menat en Auvergne.

1850. Bourjot. — Sur les schistes bitumineux de Menat. (*B. S. G.*, 2e, t. VIII, p. 39.)

1861. Heer. — Recherches sur le climat et la végétation des pays tertiaires.

1862. Jourdan. — Revue des Sociétés savantes, t. I, p. 126.

1867. Lecoq. — Epoques géologiques de l'Auvergne, t. V, p. 430.

1868. d'Archiac. — Paléontologie de la France, p. 306.

1888. de Launay. — Réunion de la Société géologique dans l'Allier. (*B. S. G.*, p. 1072.)

MODE DE FORMATION DES SCHISTES BITUMINEUX

S'il est un produit hydrocarburé pour lequel l'hypothèse d'une origine organique soit soutenable et appuyée sur des raisonnements sérieux, ce sont, à coup sûr, les schistes bitumineux.

D'une part, l'imprégnation est contemporaine du dépôt, contrairement à ce qui se passe pour la plupart des pétroles, bitumes, asphaltes, etc.. ; elle s'étend à de grandes distances avec une homogénéité telle qu'il faut admettre une dissémination préalable des produits hydrocarburés dans l'étendue du bassin marin et elle semble caractéristique d'une condition de dépôt déterminée (de schistes, c'est-à-dire de dépôts vaseux formés dans des estuaires à mer calme et peu profonde), à des époques déterminées : permien, lias, etc.

En outre, les débris organiques y sont réellement d'une abondance extrême ; par exemple les poissons à Buxière, à Autun, au Mansfeld, les poissons et plantes à Menat ; enfin il existe fréquemment, parmi les schistes des formations houillères, des bancs plus ou moins bitumineux établissant, par les cannelcoals et les bogheads, une sorte de transition de la houille au pyroschiste et, dans les gisements de schistes bitumineux eux-mêmes, Autun, Buxière, des couches de houille sont souvent à proximité immédiate.

En sorte qu'on a pu soutenir avec beaucoup de vraisemblance, et probablement dans certains cas avec raison, que l'huile des pyroschistes n'était, comme la houille voisine, qu'un produit de décomposition de matières végétales ou animales ayant, par suite de circonstances différentes, pris une forme distincte.

Cette opinion, nous le répétons, est admissible, et a le mérite, pour bien des esprits, d'être très simple ; on peut cependant lui faire quelques objections que nous croyons devoir résumer :

Tout d'abord, on remarquera l'association fréquente, avec les schistes bitumineux, de sulfures métallifères (pyrite de fer cuivreuse, etc., dans le Mansfeld ; cinabre à Idria) et, là même où ces sulfures manquent, l'abondance fréquente des précipitations siliceuses.

Nous savons bien qu'on a essayé [1] de l'expliquer en supposant que le cuivre dans un cas (et probablement aussi le mercure dans l'autre) provenait de la destruction des roches formant le pourtour du bassin et de la concentration des infiniment petites fractions de métaux empruntées à ces roches dans une eau en train de s'évaporer; puis, qu'il y avait eu réaction sur ce cuivre du sulfure de calcium, provenant de l'action des matières organiques (poissons) en décomposition sur le gypse de l'eau de mer, et précipitation du sulfure métallique. C'est là, à notre avis, une jolie imagination de chimiste qui tient difficilement devant le calcul des quantités de roches à dissoudre pour obtenir le cuivre du Mansfeld et devant le manque absolu de pyrite de cuivre dans tant d'autres dépôts schisteux formés par des mers qui avaient dû ronger tout autant de roches semblables et où il devait mourir autant de poissons. Nous croyons que les métaux ont été déversés dans le bassin par des sources thermales; nous estimons de même que la plupart des nappes siliceuses compactes du permien et du trias ne se sont pas formées directement dans les eaux superficielles, mais ont commencé par être apportées souterrainement à l'état de dissolutions chaudes chargées de carbonates alcalins et, par conséquent, il n'y aurait rien d'impossible à ce que les hydrocarbures, qui leur sont si fréquemment associés, soient le résultat d'une venue semblable : ce qui d'ailleurs ne préjuge rien sur l'origine première de ces hydrocarbures.

En second lieu, il nous semble qu'on est trop vite porté à conclure, de ce qu'un dépôt contient des restes organiques, que ces restes organiques ont produit ce dépôt. On l'a dit pour les pétroles et schistes bitumineux, on le répète pour les phosphates qui contiennent souvent en abondance des dents de squale ; le dira-t-on aussi pour l'oolithe ferrugineux qui est en France si remarquablement fossilifère, ou encore pour la pyrite qui incruste les fossiles de tous les terrains? Dans ces derniers cas, il est évident au contraire que le rôle des matières organiques a été de produire, sur des matières en dissolution dans l'eau, une réduction et une précipitation, de servir de centre à leur agglomération. Le fait que les

[1] M. Dieulafait.

schistes bitumineux renferment, tantôt des plantes, tantôt des poissons, dont la décomposition donne pourtant des produits différents, contribuerait à faire penser que leur conservation peut résulter de la présence d'hydrocarbures dans l'eau plutôt qu'elle ne l'a produite. Nous ne reviendrons pas sur d'autres arguments déjà exposés ailleurs.

Lorsqu'on cherche à se rendre compte des conditions dans lesquelles végétaux et poissons ont pu s'accumuler et se convertir en produits bitumineux, on se heurte à des difficultés très grandes. Les poissons qui meurent remontent à la surface au bout de quelque temps, toutes les fois que leur vessie natatoire est assez grande et là sont dévorés par les oiseaux ; les autres restent là où ils sont morts, dans la vase du fond, et y sont en général détruits par d'autres animaux. Il conviendrait, pour expliquer ce qui a pu se passer dans les temps anciens, d'examiner aujourd'hui quelles conditions spéciales peuvent amener leur conservation, leur emprisonnement dans les argiles et quelle proportion exacte d'hydrocarbures il peut en résulter. C'est un travail qui n'a pas encore été entrepris, à notre connaissance.

II. — ASPHALTES

Définitions et usages. — On réserve dans l'industrie le nom d'asphalte à des calcaires imprégnés très intimement et par pénétration poreuse de principes bitumineux :

« L'asphalte de bonne qualité, dit M. Malo, auteur d'un livre sur la question, présente l'aspect d'une roche tendre par la température de l'été, dure pendant l'hiver ; à grain fin, couleur de chocolat foncé, parfois tigrée noir et brun. Vers 50 ou 60°, elle se laisse écraser entre les doigts. Exposée pendant quelques heures à un soleil ardent, elle tombe d'elle-même en une poussière brune et onctueuse.

« Quand on l'examine au microscope, on reconnaît que cette roche est formée de petits grains de calcaire très fins recouverts chacun d'une mince pellicule de bitume et agglutinés entre eux

par l'intermédiaire de cette pellicule. Si l'on chauffe un petit morceau de cette matière, le bitume qui lui sert de ciment se ramollit et perd sa force agglutinante ; les molécules se décollent et s'éparpillent en poussière.

« Si, tandis qu'elle est encore à la température de 80 ou 100°, on ramasse cette poussière et si on la comprime énergiquement dans un moule, elle reprend, par le refroidissement sous sa nouvelle forme, sa consistance première. »

L'asphalte, pour offrir ces qualités, doit être très régulièrement imprégné, ne pas contenir de parties trop dures ayant résisté aux hydrocarbures, et renfermer une proportion de bitume qui ne doit pas être trop forte, — car alors la roche serait trop grasse, — ni descendre au-dessous de 4 à 5 p. 100.

Les emplois industriels de l'asphalte qui remontent aux époques assyriennes et à l'ancienne Egypte et qui sont déjà mentionnés par la Bible à propos de la construction de la Tour de Babel, sont fondés sur la ténacité toute particulière que donne à une roche une certaine proportion de bitume.

Un simple mélange suffit et c'est ainsi que l'on fabrique aujourd'hui des *briques bitumées* obtenues en plaçant des briques ordinaires dans du bitume fondu ou dans une dissolution de bitume, briques qui résistent alors à une pression de 153 à 189 kilogrammes par centimètre carré, alors qu'elles s'écrasaient auparavant sous 95. Là, le bitume a simplement rempli les pores de la roche, mais le résultat est encore plus favorable lorsqu'il y a eu réellement imprégnation, comme c'est le cas pour un asphalte. Si l'on compare en effet les coefficients d'usure d'un calcaire et d'un grès provenant du même gisement bitumineux [1], on constate que celui du grès atteint 60, tandis que celui du calcaire est de 42 à 49. C'est que, dans le grès, les grains de quartz et de feldspath sont seulement noyés dans le bitume, tandis que, dans la craie, celui-ci a si bien pénétré par porosité qu'il est impossible de l'extraire par un lavage à l'eau bouillante. M. Daubrée, en plaçant dans du bitume de Pechelbronn de la craie et du grès tertiaire, a montré en outre

[1] On appelle coefficient d'usure la quantité dont s'use un échantillon donné lorsque, dans les mêmes conditions, le grès d'Yvette, pris pour point de comparaison général, s'est usé d'une unité.

que la craie fixait 17 à 24 p. 100 de bitume, alors que le grès n'en fixait que 8.

L'asphalte peut s'employer, soit pour la construction des chaussées à l'état natif en *poudre comprimée*, soit à l'état de *mastic asphaltique* pour les trottoirs, terrasses, toitures, fondations de maisons humides, silos, maçonneries asphaltiques, etc...

Dans le premier cas, le minerai est cassé, puis broyé et tamisé en poudre très fine qu'on chauffe, au moment de s'en servir, sur une plaque de tôle jusqu'à environ 120°. Après quoi, on charge la poudre chaude dans des tombereaux à parois métalliques recouverts d'une bâche imperméable, on l'apporte sur le chantier d'application où a été déjà établi un fondement en béton de ciment, on l'étend, on la pilonne et on la comprime sous des rouleaux. Ce système qui a été employé pour beaucoup de rues de Paris, est quelque peu délaissé, depuis l'introduction du pavage en bois, à cause de l'inconvénient qu'il présente d'être très glissant en hiver et de s'effriter sous l'action des eaux pénétrées par des fissures et congelées au-dessous.

Dans le second cas, il faut d'abord préparer à l'usine le *mastic asphaltique*. C'est ce qui se fait en chauffant, dans des chaudières de tôle, l'asphalte en poudre avec du bitume libre (généralement du bitume de la Trinidad mélangé avec des goudrons de schistes d'Autun et de l'Allier) dans la proportion de 3 500 kilogrammes de poudre d'asphalte pour 250 kilogrammes de bitume; continuant la cuisson jusqu'à ce que le mélange devienne pâteux et coulant en pains de 25 kilogrammes.

Lorsqu'on veut employer le mastic asphaltique, on jette d'abord, dans une chaudière chauffée en dessous, 9 p. 100 de bitume libre; puis du mastic concassé; de nouveau 1 p. 100 de bitume et une seconde charge de mastic; après quoi, on additionne de sable de rivière dans la proportion de 60 p. 100 de poids du mastic, on brasse et on applique la masse fondue sur un fondement en béton.

Cette industrie dont, ainsi que nous l'avons dit, on retrouve des traces dans les constructions babyloniennes, date, en réalité, du commencement du XVIIIe siècle. C'est en 1710 que le Dr Eyrini d'Eyrinis découvrit le gisement suisse du Val de Travers. En 1838, furent établis à Paris les premiers trottoirs asphaltés. Aujour-

d'hui l'extraction de l'asphalte est représentée approximativement par les chiffres suivants :

Allemagne	40 000	tonnes.
France	20 000	—
Suisse	20 000	—
Italie	17 000	—
Russie	2 000	—
Espagne	250	—
Autriche	100	—

Gisements. — Parmi les gisements allemands, nous avons cité[1], ceux du Hanovre situés dans le jurassique et le crétacé, ceux de Westphalie dans le crétacé, d'Alsace dans le tertiaire ; en France, nous allons décrire ceux de Seyssel dans le jurassique et le tertiaire, d'Auvergne dans le tertiaire, du Gard dans l'éocène ; en Suisse, ceux du Val Travers dans l'urgonien ; en Italie, nous avons déjà étudié, à propos des pétroles, ceux des Apennins, en particulier de Letto Manopello ; nous aurons à citer aussi ceux de Sicile ; en Russie, on connaît ceux des bords du Volga dans le carbonifère ; en Autriche, ceux du Tyrol.

Au point de vue géologique, l'asphalte se présente, comme le pétrole, d'une façon à peu près constante, à l'état d'imprégnation postérieure au terrain encaissant ; nous adopterons donc, pour les raisons exposées plus haut, un ordre de description géographique[2].

ASPHALTES FRANÇAIS

ASPHALTES DE SEYSSEL

Nous avons décrit précédemment la zone bitumineuse qui s'étend, parallèlement aux plissements du Jura, depuis le massif du Crédo jusqu'au Sud de Belley ; il nous reste à donner quelques détails complémentaires sur la mine de Seyssel, qui est aujourd'hui, en France, le centre principal de production de l'asphalte.

[1] Voir pages 137, 138, etc.

[2] Voir sur l'asphalte en général : 1871, Lévy. De l'asphalte. (*Ind. Min.*, 3e I, 67.)
1888, Malo. De l'asphalte.
1889, Narcy. Bitumes. (*Bull. Ecole des Mines.*)

La concession de Seyssel, qui s'étend le long du Rhône de Bellegarde à Seyssel, est exploitée sur les deux rives du Rhône, à Pyrimont.

L'exploitation la plus importante, située sur la rive gauche (Est), porte sur sept couches successives de calcaire urgonien dont les parties imprégnées forment une colonne un peu inclinée comme une série de marches d'escalier se surmontant l'une l'autre. Les calcaires eux-mêmes sont à peu près horizontaux, sauf en aval où brusquement la couche inférieure prend une pente vers le Sud. A l'Ouest, le gisement est limité par la vallée d'alluvions du Rhône ; à l'Est, il l'est également par un conglomérat glaciaire contenant des blocs d'asphalte bien roulés, dont on ignore la provenance. Au-dessus des calcaires urgoniens, la mollasse marine, représentée par des sables verts, est, elle aussi, imprégnée de bitume, quoiqu'elle contienne à sa base souvent quelques centimètres d'une brèche à galets d'asphalte prouvant qu'il y avait eu déjà formation bitumineuse antérieure.

Sur la rive droite, l'exploitation, plus récente, est seulement à ciel ouvert.

Si l'on examine en détail calcaire et sables, on peut remarquer les faits suivants :

Le calcaire asphaltique, qui est d'une teinte brune, contient fréquemment des noyaux blancs stériles ayant, soit par leur dureté plus grande, soit par une certaine humidité, résisté à l'imprégnation. Autour de ces noyaux blancs, il y a passage graduel. Il nous paraît incontestable que le bitume est arrivé là postérieurement au dépôt des couches en pénétrant dans le calcaire par porosité. Reste à préciser l'âge de cette venue. M. Malo, ayant remarqué que les parties blanches sont souvent très fendillées à côté d'asphaltes non fendus, en a conclu que le bitume avait prêté de l'élasticité au calcaire et, par suite, que sa venue était antérieure au plissement du Jura, qui d'ailleurs ne paraît avoir commencé qu'après la mollasse.

Dans les sables mollassiques, on constate souvent, à côté d'imprégnations nettement transversales et filoniennes, une apparence assez imprévue de sédimentation horizontale par bancs verts stériles et bancs noirs bitumineux alternant. Cependant, en regar-

dant attentivement, on voit des pénétrations du bitume du banc noir dans le banc vert. En général, il ne semble pas y avoir passage graduel d'un banc vert à un banc noir. C'est pourquoi M. Malo a émis l'hypothèse que, dans ces parties-là, l'imprégnation bitumineuse avait été antérieure à la sédimentation et il a remarqué, comme confirmation, que ces sables, disposés par couches, étaient beaucoup moins riches en bitume que d'autres où le bitume forme des veines disposées en tout sens, comme si les premières avaient été postérieurement délavées. Il est certain que, dans les galeries de la mine de Pyrimont, ces bancs, alternativement verts et bruns, présentent parfois sur plusieurs mètres une continuité remarquable ; mais, ensuite, on retrouve souvent des parties bitumineuses inclinées. Avec un corps aussi mobile et aussi facile à remettre en mouvement que le bitume, on ne sait s'il faut en conclure que l'imprégnation s'est produite en plusieurs phases, l'une antérieure au dépôt du poudingue à galets d'asphalte, base de la mollasse, l'autre postérieure à la mollasse; ou si l'imprégnation de la mollasse ne doit être considérée que comme un phénomène secondaire résultant d'un départ des bitumes du calcaire. Mais comme, dans l'ensemble du Jura, nous trouvons, en d'autres points, la mollasse à l'état bitumineux, nous sommes disposé à adopter la première hypothèse, c'est-à-dire à rattacher le bitume de Seyssel au phénomène tertiaire qui a également agi sur les terrains d'Alsace.

Bibliographie.

1838. Asphaltic mine of Pyrimont Seyssel. (*Journal of the Franklin institut.*, t. XXVI, p. 276.)

1888. MALO. — L'Asphalte.

1889. DE LAUNAY. — Notes de voyage inédites.

ASPHALTES D'AUVERGNE

L'industrie du bitume et de l'asphalte a commencé dans le département du Puy-de-Dôme en 1831 par quelques travaux sur la concession des sables bitumineux de l'Escourchade. Plus tard,

un grand nombre d'autres concessions furent successivement instituées à Pont-du-Château, Lussat, Malintrat, etc..., qui, après des vicissitudes diverses, passèrent aux mains de la « Société des sources de bitume et d'asphalte du centre ». Depuis une dizaine d'années, la fabrication du mastic d'asphalte comprimé pour chaussées est organisée en Auvergne.

Au point de vue géologique, le bitume se rencontre, dans la région de Pont-du-Château, à l'état d'imprégnation postérieure, aussi bien dans l'un que dans l'autre des divers étages du tertiaire de la Limagne. C'est ainsi qu'à Pont-du-Château il imprègne le calcaire à *Hélix Ramondi*, oligocène transformé en asphalte, et les grès arkoses de la base du terrain lacustre ; à Lussat, et à l'Escourchade, il joue le rôle de ciment dans un sable quartzeux arkosique; à Malintrat, il exsude d'une roche pépéritique, s'écoule par un grand nombre de fissures et s'accumule presque pur dans les galeries.

Gîte de Pont-du-Château. — Les travaux de Pont-du-Château portent surtout sur la région Sud-Ouest, dite le Champ-des-Pois, qui a déjà fourni plus de 10 000 tonnes de minerais bitumineux. La couche imprégnée plonge d'une manière générale vers le Nord-Ouest avec une inclinaison de 3 à 4°; son épaisseur varie de $3^m,50$ à $5^m,50$; le mur est constitué par des sables légèrement imprégnés, le toit par un calcaire siliceux très résistant. Si l'on parcourt la couche de l'Est à l'Ouest, on voit que l'imprégnation bitumineuse, d'abord irrégulière et relativement faible (4 à 5 p. 100) devient peu à peu plus importante et plus continue, en même temps que l'épaisseur de la couche augmente et finit par atteindre 12 p. 100. — On l'a explorée, de l'Est à l'Ouest, sur 250 mètres de long et, du Sud au Nord, sur 70 mètres ; elle est disloquée par trois petites failles.

Gîte des Roys. — Le calcaire imprégné du gîte des Roys contient en abondance des *Hélix Ramondi*. Le bitume y est, en général, assez irégulièrement disséminé ; à côté de zones caverneuses trop riches, on trouve des *chiens* siliceux ou argileux inutilisables. Vers l'Ouest, la couche devient plus régulière.

A **Lussat**, on a exploité, au milieu des sables arkosiques, plus

ou moins bréchiformes, des amas bitumineux. L'un d'eux, qualifié *nouvelle couche*, présentait, en projection verticale, l'aspect d'une poire ayant 32 mètres de longueur horizontalement, et 18 mètres de hauteur. En plan, c'était une bande de $2^{m},50$ à 3 mètres d'épaisseur orientée de l'Est à l'Ouest. Dans l'ensemble, l'amas plongeait vers le Sud à 45°.

Un autre amas, dit *massif des Anglais*, présentait des formes analogues avec une disposition inverse, c'est-à-dire avec pointe à l'Est. Les sables, contenant 7 à 8 p. 100 de bitume, étaient traités par lessivage à l'eau bouillante pour en extraire du bitume employé dans la fabrication du mastic d'asphalte. On pouvait également obtenir par distillation une huile minérale. Cette concession, comme la plupart de celles de sables bitumineux, est aujourd'hui abandonnée.

A l'**Escourchade**, on a travaillé de même sur des sables arkosiques à 5 ou 9 p. 100.

A **La Bourrière**, on a exploité des nodules à 10 p. 100 de bitume disséminés dans des masses argileuses.

A **Malintrat**, on a suivi, au milieu d'une brèche pépéritique, un filon nettement caractérisé qui plonge vers l'Est avec une inclinaison de 85°; le filon, large de 80 centimètres, est rempli de fragments de la roche encaissante fortement siliceux et chargé d'une proportion variable de bitume. Le bitume suinte en abondance dans les galeries.

Prix de revient. — On estime qu'une tonne de minerai en roche revient sur place à 10 francs et peut se vendre 17 à 18 en gare de Pont-du-Château où, avec les chargements, etc., elle coûte environ 12,50.

Si l'on veut fabriquer de la poudre d'asphalte, on a 6 à 12 francs de broyage donnant un produit qui se vend 25 francs à la ville de Paris et jusqu'à 40 francs aux petits consommateurs. Un tiers environ du minerai est, dit-on, bon pour la poudre d'asphalte; deux tiers vont au mastic d'asphalte.

Ce mastic doit contenir 16 à 17 p. 100 de bitume. On l'obtient en mélangeant 7 p. 100 de bitume de la Trinidad et chauffant jusqu'à 200° dans des chaudières demi-cylindriques, munies d'agita-

teurs : il se dégage d'abord de l'eau, puis des huiles ; et, lorsque la cuite est terminée, on coule en pains.

On peut compter.

Bitume : 70 kilogrammes à 300 francs la tonne. .	21 fr.
Poudre d'asphalte, 1 tonne	17
Main-d'œuvre pour cuite et moulage	3,70
Houille brûlée	2,05
Entretien	0,50
	44,25

Bibliographie.

1880-81. Pommerol. — Age des tufs bitumineux et basaltiques de la *Limagne*. (*B. S. G.*, 3e série, t. IX, p. 282. Paris, 1880-81.)

1886. Rapports de service de M. de Béchevel, ingénieur des mines.

1889. Narcy, p. 60.

ASPHALTES DU GARD

On exploite dans le Gard, aux environs des Fumades et de Saint-Jean-de-Marvéjols, des asphaltes très riches en bitume formant deux bancs séparés par un lit de silex. Ces bancs se trouvent dans le terrain éocène (niveau des grès à empreintes végétales de Célas) contenant, d'après M. Fontannes : paleotherium, anchitherium, anoplothérium, L. longiscata, et flore à sequoia Sternbergi; au milieu de ces terrains, circulent, d'après M. Parran, les eaux minérales bitumineuses et sulfureuses des Fumades.

Aux environs du Mas-Chabert, on exploite de l'asphalte au même niveau. La production annuelle de ces mines monte à 400 tonnes exportées en grande partie par les ports de Marseille ou de Cette.

Bibliographie.

1853. Parran. Sur un gisement d'asphalte aux environs d'Alais. (*Ann. d. M.*, 5e série, t. IV, p. 334.)

Fontannes. — Faune malacologique du groupe d'Aix.

1889. Narcy, p. 66.

On peut signaler encore en France des asphaltes à Manosque (Basses-Alpes) et Forcalquier (Hautes-Alpes) inexploités à cause de la difficulté d'y accéder.

ASPHALTES SUISSES DU VAL TRAVERS

Il existe, dans le canton de Neufchâtel, plusieurs gisements de calcaire asphaltique d'autant plus intéressants qu'ils ont été les premiers découverts en Europe et que c'est là, comme nous l'avons dit, qu'a été imaginé l'emploi de l'asphalte en poudre comprimée. Ceux de Saint-Aubin, Vallorbes, Chavamay, Orbe sont trop pauvres en bitume pour être exploités ; celui des Epoissats a servi à la fabrication d'un ciment très renommé; mais le plus important est celui du Val Travers qui donne lieu, depuis vingt ans surtout, à une importante extraction.

Les calcaires bitumineux du Val Travers se trouvent, comme ceux de Seyssel, dans l'étage urgonien. A une certaine hauteur au-dessus, on trouve également des calcaires glauconieux aptiens imprégnés, séparés du calcaire urgonien par des marnes stériles.

M. le docteur Jaccard, qui vient de consacrer à ces gisements un important travail, décrit de la façon suivante les terrains de la région :

1° Le tertiaire correspond à deux faciès : l'un marin, la mollasse marine peu développée ; l'autre lacustre, fluvio-marin ou saumâtre, la mollasse aquitanienne d'eau douce qui peut atteindre 80 à 100 mètres ;

2° Au-dessous, le groupe des grès verts est représenté par un peu de calcaire cénomanien, le gault, formé surtout d'argiles à fossiles pyriteux et l'aptien comprenant : à la base des marnes, à la partie supérieure des calcaires glauconieux parfois asphaltiques ;

3° Le néocomien comprend l'urgonien, l'hauterivien et le valangien. L'urgonien lui-même se montre avec deux faciès distincts et superposés : le calcaire à caprotines et le calcaire jaune inférieur à échinodermes. C'est le premier qui contient surtout du

bitume, soit à l'état visqueux et suintant lorsqu'il est compact, soit à l'état d'imprégnation lorsqu'il est crayeux et grenu. Le banc asphaltique exploité au Val Travers, correspondant à la partie crayeuse et poreuse de l'urgonien, se trouve à la partie supérieure de cet étage, au contact des marnes aptiennes. Les mineurs distinguent le *bon banc* qui tient de 8 à 12 p. 100 de bitume et la *crappe* qui forme une transition entre le bon banc et le calcaire stérile. Sur la zone d'affleurement, l'épaisseur asphaltique est en moyenne de 7 mètres.

M. Jaccard a exprimé l'opinion que le bitume du calcaire urgonien provenait des caprotines qui s'y trouvent et plus généralement « d'une faune d'animaux mollusques et rayonnés doués d'une prodigieuse fécondité ». N'ayant pas visité le gisement, nous ne pouvons que reproduire ses arguments qui sont à peu près les suivants :

1° Le bitume ne vient pas de la profondeur parce qu'on n'a pas trouvé de cheminées d'ascension ;

2° Il n'a pas été formé par des substances végétales parce qu'on n'en rencontre pas de dépôts ;

3° Les calcaires aptiens imprégnés ont la même origine que le calcaire urgonien ; or on y rencontre, au milieu d'une lumachelle fossilifère, des vides remplis soit de bitume visqueux, soit de glauconie marneuse correspondant à des coquilles dont le têt aurait été résorbé ;

4° Le bitume n'a pu venir postérieurement parce qu'il pénètre la roche inégalement suivant son degré de compacité (à notre avis, c'est exactement le contraire) ;

5° Enfin M. Fraas a vu, dans la mer Rouge, des sources de pétrole liées intimement à la structure du grand récif de coraux qui borde cette mer et « il ne lui est jamais venu à l'idée d'attribuer à ces huiles une autre origine que la décomposition des corps gras contenus dans la lagune ». Le même M. Fraas a trouvé en Egypte des calcaires bitumineux très fossilifères et si, à côté, des calcaires aussi fossilifères n'étaient pas bitumineux ou des calcaires bitumineux n'étaient pas fossilifères, c'est que « la plus grande partie des résidus animaux est de nouveau absorbée par d'autres êtres ». Enfin M. Lesquereux, aux Etats-Unis, a vu se

former, à la base de grands amas de fucus, « une matière noirâtre, gluante, sans consistance et semblable à une composition huileuse et fétide ».

Après des « démonstrations aussi évidentes », il n'y a plus, dit M. Jaccard, pour nier l'origine purement organique des hydrocarbures, que des chimistes plus versés dans la connaissance des formules que dans celles de la géologie et de la pétrographie.

Cependant M. Jaccard remarque lui-même que les variétés asphaltiques correspondent aux calcaires crayeux et grenus, c'est-à-dire à ceux qui, par leur porosité, se sont prêtés à une imprégnation ; que, même dans les calcaires imprégnés, il existe, au milieu de l'asphalte, des lamelles de calcite cristallisée ayant résisté à l'imprégnation ; il ajoute textuellement ceci : « Toutefois il est assez remarquable que nous ne trouvions jamais de coquilles de caprotines dans le banc d'asphalte et surtout dans le bon banc, alors qu'elles sont fréquentes dans l'urgonien » ; en outre, il constate que, contrairement à une première idée inexacte, l'asphalte ne se trouve point uniquement dans l'urgonien ; par contre on peut voir, sur la carte où il a tracé les limites de la mer urgonienne (?), que les gisements bitumineux dessinent une longue bande parallèle aux plissements du Jura alors qu'une zone parallèle et très développée d'urgonien, située plus à l'Ouest, n'en contient pas ; enfin les descriptions qu'il donne lui-même des divers gisements de la région contiennent les renseignements suivants :

A *Saint-Aubin* — « ce qui est particulièrement intéressant », dit-il, — le bitume se trouve dans l'urgonien inférieur (calcaire jaune à échinodermes) et non dans le calcaire à caprotines.

Près de *Bellegarde*, il existe, dans le calcaire, des fissures remplies de bitume visqueux.

Aux *Epoisats près Vallorbes*, le bitume remplit, dans le calcaire oolithique inférieur, « une fissure verticale correspondant exactement à un axe de dislocation qui affecte tous les chaînons du Jura ». Il ne faut pas, ajoute-t-il, en conclure à une origine profonde parce que ce filon est limité dans tous les sens. « C'est latéralement, dit-il, que le bitume, sortant de la roche calcaire à ciment asphaltique. a envahi la cavité (?) »

Près de *Noraigue*, le bitume se retrouve en filons croiseurs dans le bathonien.

Sur la route de la Brévine à Couvet, un calcaire spontigien, trop compact pour être pénétrable, renferme des fissures de bitume liquide.

Enfin la mollasse tertiaire de Mathod, des environs de Genève, de Pyrimont, de la Valserine, etc., est, en une foule de points décrits par lui, bitumineuse; c'est-à-dire que, conformément à une loi générale, la plupart des terrains dans la région disloquée renferment des bitumes alors que les mêmes terrains hors de cette région n'en contiennent jamais [1].

Pour nous, la conclusion de ces faits est très nette : les hydrocarbures, quelle que soit leur origine, sont venus d'en bas, suivant les régions, dans des terrains divers allant du jurassique au crétacé; lorsqu'ils ont rencontré des calcaires poreux comme ceux de l'urgonien, à Seyssel et au Val Travers, ils ont formé une imprégnation homogène qui est l'asphalte; lorsque le calcaire, trop siliceux ou trop compact, ne s'est pas prêté à cette action, ils se sont localisés à l'état plus liquide, dans des vides quelconques ou des cassures; enfin, dans les sables de la mollasse, ils ont constitué des sables bitumineux.

Il faut d'ailleurs remarquer que c'est avec l'urgonien que commencent à se dessiner les plissements initiaux des chaînons jurassiques, qui se traduisent par la disposition en retrait des divers étages du néocomien les uns par rapport aux autres, et il est possible que les sources bitumineuses aient commencé par suite, dès cette époque, pour se continuer jusqu'à la fin de la mollasse.

Bibliographie.

1846. Ladame. — Rapport sur le Val Travers.

1855. Hessel et Kopp. — (Soc. Helvétique des sciences naturelles.)

1868. Knar. — Théorie de la formation de l'asphalte au Val Travers. (*Mon. scient.*, 1868, p. 311.)

[1] On remarquera que, dans une région donnée, calcaires, marnes, grès peuvent être à la fois bitumineux; cependant les conditions de dépôt, de végétation, de vie, etc., se sont modifiées profondément de l'un à l'autre de ces terrains.

1869. JACCARD. — Description géologique du Jura vaudois et neuchâtelois (Berne).

— Etudes sur l'asphalte et sur le bitume au Val Travers, dans le Jura et la Haute-Savoie.

1879. DE TRIBOLET. — Notes sur les gisements d'asphalte de Hanovre comparés à ceux du Val Travers. (*Bull. de la Soc. des sciences naturelles*, t. IX, p. 266, Neuchâtel, 1879.)

1889. NARCY, p. 52.

* Dès 1890. JACCARD. — Origine de l'asphalte. (*Eclogæ geologicæ Helvetiæ.*)

ASPHALTES DE SICILE

(RAGUSA)[1]

Dans la province de Syracuse, on exploite, depuis assez longtemps, des couches d'asphalte importantes à quelques kilomètres au Sud de Ragusa, dans la direction du port de Mazarelli.

La roche asphaltique fait partie d'un calcaire miocène très fossilifère (Clypeaster altus, Siliquaria, etc.).

Auprès de Leporino, des escarpements taillés à pic montrent l'existence de l'asphalte à deux niveaux distincts : l'inférieur puissant de 5 mètres avec quelques nerfs de calcaire interposés, le supérieur épais de 5 à 20 mètres, séparé du premier par 25 mètres de calcaire stérile. Il existe, en outre, aux environs, de puissants amas d'asphalte dont on ne voit aucune communication avec la masse encaissante.

Cet asphalte, susceptible d'être scié et taillé, a été d'abord exploité pour en obtenir de grands blocs débités et utilisés ensuite comme dalles, chambranles de cheminées, montants de portes et de fenêtres, etc. Mais, à une certaine profondeur, l'asphalte, chargé de bitume libre qui suinte à travers ses pores, devient trop tendre et ne se laisse plus mordre à la scie ; aussi l'exploite-t-on aujourd'hui pour la fabrication du mastic d'asphalte et de l'asphalte comprimé.

[1] Voir Coquand et Narcy, p. 71.

ASPHALTES DE RUSSIE
(SISRAN)[1]

Sur les rives du Volga, près de la presqu'île de Samara, un petit îlot de dépôts de l'âge du calcaire carbonifère s'élève au milieu des terrains permiens, jurassiques et crétacés.

Vers le Sud-Ouest, le calcaire présente des imprégnations asphaltiques qu'on exploite depuis 1874, en particulier près de la ville de *Sisran*, le long de la Sisranka et de ses affluents. Ces calcaires contiennent jusqu'à 30 p. 100 de bitume. Le bitume nécessaire pour la fabrication du mastic est, en outre, extrait de sables bitumineux voisins.

ASPHALTES DU TYROL[2]

L'asphalte est connu dans le Tyrol sous le nom de *stinkstein* et les variétés moins riches en bitume y sont appelées *gallenstein*. Plusieurs gisements ont été signalés, dans le voisinage de l'Inn, dans le calcaire jurassique qui forme la rive gauche de cette rivière, en particulier à *Seelfeld*. On a fabriqué là du mastic d'asphalte en utilisant, comme bitume additionnel, le produit de la distillation du stinkstein.

En suivant le cours de l'Inn, on trouve également, un peu au-dessus de Kufstein, à *Hœring*, sur la rive droite, un calcaire tertiaire bitumineux.

ASPHALTES DE DALMATIE

On connaît en Dalmatie, depuis 1839, un asphalte intercalé dans le jurassique, situé dans l'île de Brazza en face de Spalatro ; un gisement analogue a été découvert en 1844, à Porto-Mandolo, près Trau.

[1] Narcy, p. 37.
[2] Narcy, p. 29.

THÉORIE DE LA FORMATION DES HYDROCARBURES

La discussion que nous venons de faire à diverses reprises pour les pétroles, les schistes bitumineux, les asphaltes, des théories relatives à l'origine des hydrocarbures, pourrait nous dispenser d'y revenir. Nous voulons cependant la résumer en quelques mots.

Les géologues anglais et américains sont généralement d'accord pour admettre l'origine organique de tous les hydrocarbures[1]; voici leur théorie, empruntée principalement à Davies et à Crew :

1° Les gisements hydrocarburés sont toujours en relation plus ou moins intime avec des dépôts de matières végétales, soit qu'ils en fassent partie, comme c'est le cas pour le cannelcoal à Boghead, Autun (?), Breckenridge, soit qu'ils en dérivent comme les calcaires bitumineux de France et de Suisse (??), les pétroles de l'Inde et de l'Amérique, le lac de poix de la Trinidad, etc.;

2° Même quand on ne voit pas les dépôts végétaux, on peut toujours affirmer qu'ils ont existé;

3° On voit que, là où les matières bitumineuses sont très abondantes dans des dépôts végétaux, comme dans les cannelcoals du Flintshire, les conditions de dépôt étaient différentes de celles où se forme le charbon. La destruction entière de la structure végétale, la présence de poissons, la relation avec le sel prouvent que le dépôt a dû se faire dans des lagunes salées;

4° Déposés dans l'eau, les végétaux ont échappé à la décomposition et le carbone végétal a dû s'assimiler l'hydrogène de l'eau;

5° Ces dépôts, ayant été recouverts et comprimés à l'état solide, sont devenus fixes;

6° Plus tard, les dislocations amenant l'air ont dû développer assez de chaleur pour produire une distillation partielle, comme le montrent les venues de bitume liquide;

[1] C'est pourquoi nous nous sommes étendu peut-être un peu longuement sur la discussion de cette théorie.

7° Le bitume remis ainsi en mouvement s'est accumulé dans les réservoirs des terrains supérieurs et a été accompagné de gaz (Voir l'Amérique);

8° L'eau qui l'accompagne est venue de la surface et sa salure des couches salées qu'elle a traversées.

Contrairement à cette théorie exclusivement organique, nous avons déjà fait remarquer :

1° L'existence du diamant, du graphite dans des roches éruptives, du bitume dans les filons d'argent de Kœnigsberg, ou les veines de quartz de Norberg au milieu du terrain primitif, de l'acide carbonique dans les roches de toutes les régions volcaniques (Pontgibaud, etc...);

2° L'absence de restes organisés dans un très grand nombre de gisements hydrocarburés;

3° La relation de ces gisements avec les régions plissées du sol où ils se rencontrent dans une série de terrains d'âge différent, sans obéir à d'autre loi que celle de la perméabilité ou la porosité des couches, alors que des terrains identiques, dans les parties planes voisines, n'en contiennent pas;

4° La force ascensionnelle des pétroles constatée par les puits jaillissants qui prouve d'une façon péremptoire et à priori que ces pétroles ont dû, dans l'intérieur de la terre et sous l'influence de ces dislocations, subir des déplacements analogues à ceux que nous leur imprimons artificiellement par des sondages, et ne se sont par suite pas formés le plus souvent aux points où nous les rencontrons.

D'où la conclusion que, si l'origine première du carbone échappe peut-être à nos observations, du moins les circulations hydrothermales suivant des fractures et les mouvements de plissement de l'écorce terrestre, ont joué dans la constitution de ses dépôts, tels que nous les rencontrons, un rôle essentiel, important à considérer dans la pratique et qu'on est souvent trop porté à négliger.

Pour terminer, nous donnons, d'après la statistique française, un tableau de la production des divers hydrocarbures :

PRODUCTIO

QUANTITÉS EN TONNES. — VALEURS EN FRANCS. — MI

ANNÉES	FRANCE		ILES BRITANNIQUES		PRUSSE		ITALIE		E
	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	T
1880	B 144.000	7,10	B 850.371	»	B 26.000	13,16	B 12.173	39,29	
	»	»	»	»	»	»	»	»	P
1881	179.000	6,70	972.629	6,15	B 15.900	14,37	»	»	
	»	»	»	»	»	»	»	»	P
1882	188.000	6,32	1.046.388	6,15	B 12.996	10,03	B 8.300	16,50	
	»	»	»	»	P 5.989	121,48	P 180	475,00	P
1883	147.000	7,72	1.187.000	6,37	B 20.400	8,10	»	»	
	»	»	»	»	P 2.500	125,27	»	»	P
1884	202.000	6,94	1.543.000	6,32	B 19.000	7,03	B 17.300	26,30	
	»	»	»	»	P 3.600	130,55	P 400	341,00	N 1.
1885	195.000	6,36	1.799.000	6,27	B 19.000	7,53	B 13.700	22,41	
	»	»	»	»	P 2.700	156,00	P 270	407,00	N 1.
1886	190.000	6,68	1.756.000	6,26	B 16.000	6,40	B 17.943	22,40	
	»	»	»	»	P 2.700	188,00	P 219	416,00	
1887	175.000	6,09	1.434.000	6,25	B 16.000	6,40	B 18.000	21,64	B
	»	»	P 69	37,00	P 2.700	188,00	P 220	416,12	N 1.
1888	189.000	6,70	2.110.000	6,20	B 11.000	11,35	B 18.500	22,70	B
	»	»	P 36	37,00	P 2.800	173,00	P 200	385,00	N
1889	215.000	6,90	2.047.000	6,20	B 12.000	17,17	B 20.000	25,25	B
	»	»	P 30	36,70	P 3.000	171,33	P 170	320,00	N 2.
1890	233.000	6,68	2.248.000	6,82	B 15.000	17,00	B 30.000	18,10	B
	»	»	P 36	39,10	P 2.200	189,00	P 180	288,13	N 3.

RBURES

UX = B. — PÉTROLE = P. — NAPHTE = N.

-UNIS		CANADA		LA TRINITÉ		AUSTRALIE		TOTAL APPROXIMATIF pour LE MONDE ENTIER
	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes
	»	»	»	»	»	B 33.007	51,14	B 1.459.047
0	»	»	»	»	»	P 840	141,30	»
	»	»	»	»	»	B	»	B 1.246.584
0	185,10	»	»	»	»	28.312	36,30	P 355.891
	»	P	»	»	»	B	»	B 1.319.915
)	31,73	56.000	101,14	»	»	49.000	43,34	P 2.672.427
	»	»	»	»	»	B	»	B 1.455.000
)	34,18	59.000	141,9	»	»	50.000	45,82	P 4.761.000
	»	»	»	»	»	B	»	B 1.829.000
	35,34	71.000	33,21	»	»	32.000	56,69	P 4.161.000
	»	»	»	»	»	B	»	B 2.112.000
	28,5	63.000	36,00	»	»	28.000	60,57	P 4.370.000
	»	»	»	B 36.000	29,42	B	»	B 2.047.000
	»	77.000	31,50	»	»	44.000	57,00	P 5.594.000
	22,90	»	»	B 31.300	3,31	B	»	B 2.009.000
	26,70	98.000	31,62	»	»	41.000	54,00	P 5.799.000
	34,98	»	»	B 44.000	29,30	B	»	B 2.499.000
	35,97	P95.000	40,00	B	»	35.000	53,60	P 5.712.000
	»	»	»	B 53.000	31,60	B	»	B 2.489.000
	»	P82.000	37,65	»	»	41.000	47,50	P 6.465.000
	»	»	»	B 79.000	28,58	»	»	B 2.754.000
	»	»	»	»	»	»	»	P 7.995.000

En outre, un certain nombre de *gemmes* : la topaze, l'émeraude, la phénacite, l'olivine, le grenat, etc., sont des silicates plus ou moins complexes.

SABLES POUR VERRERIE

La composition des verres blancs et des glaces est caractérisée par ce fait que l'oxygène de la silice soit le quadruple de l'oxygène des bases : chaux, fer et alumine.

Dans certaines verreries, et particulièrement en Bohême, on diminue la proportion de quartz jusqu'à ce que ce rapport soit le triple au lieu du quadruple.

Voici d'ailleurs quelques dosages usités dans les grandes verreries :

VERRE BLANC DE BOHÊME	
Quartz pulvérisé	110
Chaux caustique	24
Carbonate de potasse	64
	198

GLACE DE SAINT-GOBAIN	
Sable quartzeux très blanc	300
Rognure de glace	300
Chaux	43
Carbonate de soude	100
	743

Dans les verres à bouteille, la proportion de chaux est beaucoup plus forte et l'oxygène de la silice n'est jamais que le triple, souvent même seulement le double de celui des diverses bases.

Voici la composition d'un mélange employé à la confection des bouteilles :

Sable quartzeux	100
Soude de varech et cendre neuve	100
Cendre lavée	150
Argile	100
Chaux	150
	600

Pour qu'un sable quartzeux ait une certaine valeur, il faut qu'il soit très blanc et d'un grain suffisamment fin pour passer au tamis 25.

Un sable assez chargé en fer pour n'être propre qu'à la fabri-

cation des bouteilles ne vaut guère plus de 6 francs la tonne, soit 10 à 12 francs le mètre cube dans un des ports du littoral français. Au contraire, un sable très pur, très blanc et très fin, comme le sont certains sables de Fontainebleau, peut atteindre un prix décuple.

CRISTAL DE ROCHE. — CAILLOU DU RHIN

Le cristal de roche, employé en optique, dans l'orfèvrerie, etc., n'est autre chose que du quartz cristallisé dans des druses de certains filons. Il y arrive parfois à des dimensions colossales, en particulier à Madagascar où un seul individu peut atteindre 1 ou 2 mètres de tour avec un poids de 300 à 400 kilogrammes.

De beaux échantillons proviennent aussi du Saint-Gothard, du Tyrol et de l'Oisans. A une époque où le cristal de roche était particulièrement recherché, avant que Venise ne fût arrivée à trouver un verre comparable à lui par son éclat et sa blancheur, c'était même les Alpes qui le fournissaient uniquement [1].

Le caillou du Rhin est du cristal de roche roulé.

Certaines variétés de quartz jaune topaze, susceptibles d'être taillées, viennent du Brésil et de Madagascar.

CORNALINE, JASPE SANGUIN, AGATE, ETC.

La calcédoine, en masse sphéroïdale concrétionnée ou stalactiti-forme, prend le nom de cornaline quand elle est rouge, de sar-loine quand elle est brune avec couleur rouge sang par transmis-sion, de jaspe sanguin quand elle est verte avec des taches rouge

[1] On a découvert en 1867, près du glacier du Rhône, une grotte tapissée de cristaux de quartz du plus beau noir dont on a extrait plus de 200 quintaux. Le cristal noir valait à ce moment 6 francs la livre, tandis que le quartz blanc, moins à la mode, n'en valait que 2. (*An. d. M.*, 6e, XV, p. 169.)

sang, d'agate quand elle est divisée en zones concentriques de coloration diverse.

Les agates se rencontrent d'habitude dans des roches amygdaloïdes où la silice paraît avoir pénétré d'abord par porosité pour se déposer ensuite sur les parois des cavités intérieures.

C'est souvent dans des alluvions de rivière qu'on exploite ces diverses pierres ; l'on modifie généralement leurs teintes par divers moyens physiques ou chimiques : ainsi à Oberstein, dans le Palatinat, où il s'en fait une certaine industrie [1].

Dans l'Inde, M. Copland a décrit une mine de cornalines et d'agates située à Barotch, entre Bombay et Brouda [2] :

CORNALINES DE BAROTCH

A 5 milles de Nimoudra, se trouve un ruisseau, le Karaï, où l'on trouve beaucoup de galets d'agate et de cornaline.

Les mines consistent en puits ayant une quinzaine de mètres de profondeur. On les creuse dans des alluvions formées de sables quartzeux avec un peu d'argile. Les rognons d'agate disséminés sont très nombreux ; les uns noirs, les autres plus clairs, d'autres laiteux.

Les pierres sont apportées à Nimoudra, étalées à terre et exposées au soleil. On les retourne tous les quinze jours jusqu'au moment où on les brûle, ce qui a lieu une fois l'an. On les met alors dans des vases de 30 centimètres de diamètre placés à la file au fond d'une tranchée qu'on remplit de fiente de chèvre desséchée. On laisse brûler une nuit, puis les pierres refroidissent à l'air pendant trois heures. Dans cette opération, elles changent de teinte, deviennent généralement plus blanches, parfois rosées. On les entame alors pour en reconnaître la qualité, puis on les porte à Cambaye où s'en fait le commerce.

[1] Voir sur les agates Daubrée : Eaux souterraines anciennes, p. 25; Zirkel : Petrographie, p. 88; Bischof, t. I, p. 623, etc.

[2] *B. S. G.*, t. XIII, p. 669.

Beaucoup d'agates proviennent en outre de l'Uruguay; des sardoines de Nertchinsk (Sibérie) et de Chine.

On tire du jaspe de Kolyvan (Sibérie), d'Egypte, etc.

Bibliographie.

1829. Buckland. — Agathes in the Mendip hills.
1887. Abbott (W.-J.). — The formation of agates.

OPALE[1]

L'opale noble est remarquable par la beauté de ses reflets irisés, dus, suivant les uns, à des fentes de retrait remplies par des exsudations de densité légèrement différente; suivant d'autres, à une petite quantité de matière hydrocarburée. Les plus belles opales proviennent de Hongrie, où on les trouve en petites veines au milieu de trachytes et de tufs trachytiques, à Czerwemitza, etc...

Des variétés qu'on appelle *opales de feu* ou *opales chatoyantes* se trouvent à Zimapan, au Mexique. Le Mexique en renferme d'autres gisements à Queretaro, Lucretaro, etc.

D'ailleurs, il est très fréquent de trouver des veines d'opale dans les trachytes, sans que celles-ci aient les belles colorations qui les font estimer; on en trouve également dans des serpentines en relation avec des concentrations de fer chromé (Mételin).

MICA

Usages. — Le mica industriel se présente sous deux aspects différents : 1° le mica lamelliforme pulvérulent et ressemblant à de la poudre d'or et d'argent qu'on emploie pour sécher l'écriture, pour faire des papiers de tenture satinés, des papiers argentés; 2° le mica en grandes feuilles transparentes ayant quelquefois plusieurs mètres

[1] 1882. Roberston : Occurrence of Opal in Queensland.

de surface, dont les usages sont beaucoup plus nombreux qu'on ne le croit communément :

On en fait surtout des plaques réfractaires pour le devant des poêles mobiles, pour les regards de fours métallurgiques, etc.; on l'a utilisé (particulièrement en Russie, d'où son nom de verre de Moscou) pour faire des vitrages de navire, résistant par leur flexibilité aux vibrations des décharges d'artillerie; on en confectionne des lanternes, des lustres, des fumivores, des écrans, des instruments de physique appelés colorigrades, etc. : on l'utilise enfin d'une façon accessoire dans le commerce des images religieuses, d'une part pour faire des peintures comme sur l'ivoire, la celluloïde ou sur la gélatine (qui a l'inconvénient de s'altérer à l'eau), d'autre part pour vitrer les images à la surface, usage pour lequel il est préférable au gypse plus cassant et plus détériorable par l'humidité.

Ces usages divers tiennent à sa flexibilité, à sa transparence, à son inaltérabilité à l'eau et au feu, à sa faculté de se réduire en lames extrêmement minces tout en restant tenaces, etc.

Gisements. — Les beaux gisements de mica sont toujours dans des quartz de l'âge des granulites ou dans des granulites mêmes, et sont, en général, intéressants pour la grande variété de minéraux qu'on y trouve. On doit citer surtout ceux du Canada et de Sibérie. En Norvège, dans l'île de Quen, on exploite, dans des pegmatites, des micas atteignant plus d'un mètre de diamètre avec du quartz laiteux utilisé dans les verreries et du feldspath pour les faïenceries. En France, on ne rencontre guère de mica ayant plus de 20 à 25 centimètres[1].

Nous nous contenterons de décrire les gisements du Canada.

MICA DU CANADA[2]

« Le mica est exploité industriellement dans la province de Québec, au Canada. On recherche la variété dite « muscovite », de couleur blanche.

[1] Tulle (Corrèze), Saint-Yrieix (Haute-Vienne), etc.
[2] 1886. Obalski, Rapport sur la province de Québec.

La seule mine réellement en activité est celle de Villeneuve (Ottawa) appartenant à la compagnie « the British and Canadian mica and mining C° ». Les premiers travaux datent de septembre 1884.

Depuis, cette compagnie a livré au commerce environ 17 000 kilogrammes de mica. Ce mica est presque exclusivement vendu au Canada à des prix variant de 12 francs pour 5 centimètres sur 5, à 360 francs pour 13 sur 17.

On rencontre des cristaux de $0^{m},75$ de côté. On en a même extrait un qui pesait 140 kilogrammes et qui a produit pour près de 12 000 francs de mica marchand.

Le mica se trouve en cristaux dans un filon pegmatoïde variant de 1 à 100 mètres de largeur et de direction Nord-Est. Au mica sont associés du quartz, du feldspath blanc, de la tourmaline noire, du grenat et d'autres minéraux rares, entre autres des minéraux d'urane et de cerium (monazite, samarskite, etc...). La mine contient aussi du kaolin très blanc. La roche est assez dure et on doit prendre des précautions spéciales de crainte de briser le mica.

M. Obalski mentionne, dans la même région, un autre gisement non exploité :

La *Mine Leduc* (Ottawa, Wakefield), également sur une pegmatite avec quartz, feldspath vert et tourmaline diversement colorée.

D'autres gisements méritent encore une mention pour les minéraux qu'on y rencontre :

Chicoutimi-Jonquière : quartz blanc avec émeraude et molybdénite.

Berthier-Maisonneuve : quartz avec émeraude, grenat, samarskite, etc.

AMIANTE[1]

Usages. — Il existe deux variétés d'amiante, l'une qui est de la trémolite (amphibole) flexible et blanche, l'autre du chrysotile.

Ce corps qui servait aux anciens à faire une toile destinée à

[1] Coll. École des Mines, 1844 et 1845.

envelopper les corps livrés au bucher, a encore aujourd'hui un certain nombre d'usages fondés sur son infusibilité et son inaltérabilité, usages dont quelques-uns se sont même fortement développés depuis une dizaine d'années.

C'est ainsi qu'on l'utilise en grandes quantités pour les joints de machines[1] (au lieu d'étoupe et de minium), et pour les fermetures de canons de Bange ; que les laboratoires s'en servent pour filtrer des liqueurs trop acides ; que les chirurgiens en font parfois une sorte de charpie purifiable au feu et à l'alcool. On tend également à l'adopter pour remplacer la gutta-percha comme isolateur des fils électriques, celle-ci n'empêchant pas toujours le feu de se communiquer[2], et l'ozocérite qu'on avait essayé de lui substituer ayant des inconvénients analogues[3]. On a tenté encore d'en faire des vêtements incombustibles pour les pompiers, d'en fabriquer un papier susceptible de recevoir des caractères d'imprimerie, etc.

La majeure partie de ce corps vient aujourd'hui du Canada qui en a produit :

Avant 1882	900	tonnes
1882	410	—
1883	724	—
1884	1104	—
1885	1327	—
1886	3382	—
1887	4619	—
1888	4183	—
1889	5920	—

Le prix de l'amiante du Canada, qui est un chrysotile fin et soyeux, très recherché sur les marchés anglais et américains, était, en 1889, de 500 francs la tonne ; en 1890, il a monté à 1 000 ou 1 200, l'extraction revenant à 200 ou 250 francs.

Cet amiante du Canada se trouve dans la Beauce et le Mégantic (province de Québec) où il est enchâssé dans la serpentine. Dans les districts de Thetford, Coleraine, Danville et Lac-Noir, 15 mines étaient en activité en 1889 et occupaient 560 ouvriers.

[1] Aux environs de Laval (Mayenne), une usine importante travaille l'amiante du Canada.

[2] En outre, la gutta-percha commence à manquer dans le commerce.

[3] *An. d. M.*, 1887, p. 149. Voir plus haut, page 154.

On connaît au Canada d'autres veines d'amiante dans la Gaspésie; mais elles sont trop minces pour être exploitées.

La variété trémolite se trouve en particulier dans le Val Tremola (massif du Saint-Gothard), d'où la trémolite tire son nom. Elle constitue l'amiante dit d'Italie. Les amphibolites des micaschistes en contiennent assez fréquemment.

Bibliographie.

1877-78. DE KONINCK. — Asbeste d'Ottré. (*Ann. de la Soc. géol. de Belgique*, t. V.-LXXXIII. Liège, 1877-78.)

1887. *Ann. d. M.*, p. 149.

* 1888. OBALSKI. — Rapport sur le Canada.

1889. Eug. LUSCHIN RITTER. — Asbest; dessen Vorkommen un Verarbeitung in Ebengruth (Oesterreich-Ungarn). (*B. u. H., mannisches Jahrbuch*, t. XXXVII, p. 87, Vienne, 1889.)

* 1890. *Nature* du 13 déc. 1890.

ARDOISES[1]

Usages. — L'ardoise est un schiste argileux, impur et fissile[2] dont la couleur varie du gris violacé ou bleuâtre au gris rouge. Son inaltérabilité à l'air et à l'humidité la fait employer, depuis le xe siècle environ, pour la couverture des édifices[3]. On l'utilise, en outre, pour les carrelages et revêtements de salles de bains, de laiteries, pour la fabrication des mangeoires d'écuries, des tablettes de cheminée, des tables de billard, des isolateurs électriques et autres usages bien connus.

La qualité d'une ardoise peut être très variable. Celle qui contient de la pyrite est altérable parce que ce sulfure s'oxyde à l'air et devient pulvérulent; celle dont la masse est poreuse s'imprègne de l'eau des pluies et la moindre gelée suffit pour la briser : elle

[1] Coll. École des Mines, 1846 à 1848.

[2] On sait que la fissilité est souvent indépendante de la stratification.

[3] Suivant la force habituelle du vent dans le pays, on peut employer des ardoises plus ou moins grandes. Dans les points peu exposés au vent, on préfère souvent la dimension maxima, dite *grande anglaise*, qui coûte plus cher, mais est à peu près inusable.

a de plus l'inconvénient d'être perméable. Une bonne ardoise doit être dure, sonore, pesante; avoir une surface lisse, une structure homogène et serrée, une couleur foncée. On peut se rendre compte de la qualité par une expérience fort simple qui consiste à immerger la pierre verticalement dans l'eau, de manière qu'elle n'y plonge que jusqu'au tiers de sa hauteur. Si, au bout de vingt-quatre heures environ, l'extrémité supérieure est parfaitement sèche, l'ardoise sera jugée bonne et d'une compacité suffisante; dans le cas contraire, elle devra être rejetée, l'ascension de l'eau dans la masse en démontrant la porosité.

Gisements. — Géologiquement, les ardoises se rencontrent dans les terrains anciens métamorphiques : dans le cambrien, à Fumay (Ardennes) et dans une partie du pays de Galles; dans le silurien, à Angers, etc. Des expériences de M. Daubrée ont montré que la reproduction synthétique d'une ardoise s'obtenait aisément en soumettant une masse argileuse à un laminage énergique.

En France, les deux principaux groupes d'exploitations ardoisières sont ceux des Ardennes et d'Angers. On peut, en outre, citer les ardoises de Saint-Lô, Cherbourg, des environs de Redon (Ille-et-Vilaine), de Chateaulin (Finistère); de Renazé et de Chattemoue (Mayenne), de Saint-Léonard (Orne), de Saint-Georges-le-Gaultier (Sarthe), de Grenoble, de Brive (Donzenac, Alassac, etc., en Corrèze), de Blamont, près Lunéville. A l'étranger, on extrait des ardoises sur la côte de Gènes; au Platsberg, en Suisse; à Eisleben, en Saxe; dans le Hartz; dans le pays de Galles (comté de Caernarvan) et dans plusieurs îles de la côte occidentale d'Ecosse. Nous allons décrire les principaux de ces gisements.

ARDOISES DES ARDENNES

Dans les Ardennes, l'extraction de l'ardoise se fait dans trois centres principaux qui sont, par ordre d'importance : 1° Fumay et Haybes; 2° Rimogne et Harcy; 3° Deville et Monthermé. Le niveau ardoisier appartient à l'étage dit Devillien, au-dessus duquel le Revinien est constitué par des quartzites, quartzo-phyllades, etc...

Les ardoises obtenues sont plus dures et plus solides que celles d'Angers ; elles durent de 90 à 100 ans, tandis que celles-ci ne durent que 20 à 30. En revanche, elles ont le grain moins fin et forment des couches très tourmentées, à replis nombreux. L'exploitation est souterraine.

A Fumay, le banc principal, exploité par les carrières de Moulin-Sainte-Anne, Bellerose, Liémery, etc., présente une épaisseur qui n'atteint pas 8 mètres et se divise en un certain nombre de couches non adhérentes et séparées les unes des autres, soit par une veinule de grès de quelques centimètres, soit par un lit d'argile presque imperceptible. L'inclinaison de ce banc n'est que de 25° sur l'horizontale : ce qui force à laisser des massifs de réserve pour soutenir le toit. L'ardoise produite est de couleur lie de vin ; elle contient parfois de petits cristaux octaédriques de fer oxydulé.

A Rimogne, la couche principale, exploitée à la Grande Fosse, atteint 50 mètres de puissance vers l'Ouest, mais se réduit à zéro du côté de l'Est.

A Deville et Monthermé, les couches n'ont en général que 4 à 5 mètres de puissance et plongent d'environ 50°.

Bibliographie.

Nivoit. — L'industrie des Ardennes.

1881-82. Lahoussaye. — Note sur le terrain ardoisier de *Rimogne*. (*Ann. de la Soc. géologique du Nord*, t. IX, p. 28. Lille, 1881-82).

1882-83. Gosselet. — Communication sur les veines ardoisières de *Fumay*. (*B. S. G.*, 3e série, t. XI, p. 343. Paris, 1882-83.)

1889. Gosselet. — L'Ardenne.

ARDOISES D'ANGERS

Les schistes ardoisiers d'Angers font partie d'un ensemble de schistes considérable appartenant à la formation silurienne. Ces schistes, qui se poursuivent sur une grande étendue de l'Est à l'Ouest, ont leur limite Est aux environs d'Angers ; dans le sens Nord-Sud, ils présentent des plissements importants ; les couches

y sont, par places, fortement redressées et les mêmes bancs affleurent certainement à plusieurs reprises. Le niveau exploité est caractérisé par des trilobites de grande taille (d'ailleurs fort rares) : Lichas Heberti, Asaphus Guettardi, Megalaspis Desmareti, Calymene Tristani. Il est supérieur aux schistes à minerais de fer que nous décrirons plus tard et inférieur à des phtanites à graptolithes (assise de Llandeilo ou armoricain).

Les schistes ardoisiers, qui ont participé au mouvement général des terrains, forment, au milieu des autres schistes, plusieurs couches appelées *veines* dans le pays, de puissance variable, mais généralement assez considérable et dépassant, par endroits, cent mètres. Il va de soi que, sur une pareille épaisseur, la qualité du schiste n'est pas toujours la même, l'ardoise est plus ou moins fissile et, aux environs d'Angers, on donne le nom de veine spécialement à certaines parties de meilleure qualité. Une particularité qui distingue les ardoises d'Angers de celles des Ardennes, c'est l'absence presque absolue de bancs de grès intercalés.

Aux environs immédiats d'Angers, les principaux centres d'exploitation sont actuellement à Trélazé et Saint-Barthélemy. En allant de l'Est vers l'Ouest, la largeur de la bande de schiste se réduit de un kilomètre environ près de Trélazé, à 600 mètres près de l'ardoisière des Fresnais, et diminue encore vers l'Ouest. Tandis qu'à Trélazé il y a six veines (dont deux seulement exploitables avantageusement), aux Fresnais, on a trouvé trois veines parfaitement caractérisées.

Le passage du schiste non fissile à l'ardoise est généralement graduel ; près de Trélazé, la veine du Sud, qui a un pendage Sud de 20° sur la verticale, est limitée au Nord par la *liche*, c'est-à-dire par un schiste coupé de petits joints transversaux doux au toucher. Dans l'intérieur de la veine proprement dite, qui a de 35 à 60 mètres, il y a d'ailleurs des variations constantes en direction comme en inclinaison [1].

A leurs affleurements, les ardoises sont recouvertes, sur 15 à 20 mètres de profondeur, par une partie décomposée qu'on appelle

[1] Ces variations peuvent modifier le prix de la substance dans une proportion considérable.

la *cosse* et qu'il faut commencer par déblayer quand on veut exploiter à ciel ouvert. Plus on enfonce, plus les ardoises gagnent en solidité.

Les bancs ardoisiers sont découpés : d'une part suivant le plan de fissilité, de l'autre suivant les horizontales de ce plan (*fil de la pierre*). Il existe en outre de nombreux accidents, tels que les *torsins*, larges fentes presque verticales remplies de rognons de quartz enveloppés dans des fragments tordus et plissés des roches encaissantes ; les *cordes de chat*, veines de quartz blanc suivant la direction de la veine ; les *chefs* (cassures suivant la verticale) ; les *bavures*, les *érusses*, etc... Tous ces accidents jouent un rôle dans le travail.

Les ardoisières d'Angers ont été, depuis le XIIe siècle, exploitées à ciel ouvert ; ce n'est qu'en 1832 qu'on a commencé une première exploitation souterraine aux Grands-Carreaux en pratiquant de grands vides qui avaient jusqu'à 60 mètres en long et en large à la voûte sur 100 mètres de profondeur. Ces vides ont été, depuis 1878, éclairés à la lumière électrique aux Fresnais, aux Grands-Carreaux, à l'Hermitage ; puis, peu à peu, dans la plupart des ardoisières[1]. La résistance très grande du schiste a permis, en organisant une surveillance assidue des voûtes au moyen de *ponts* volants suspendus par des tringles de fer, d'éviter les accidents par éboulement du toit.

Le prix de revient, par mètre cube de rocher utile donnant 2 300 ardoises, était, dans ce système, d'après M. Blavier :

Main-d'œuvre	d'ouvriers d'à bas.	6,10
	d'ouvriers divers.	4,60
Matières. . .	pour l'exploitation.	3,45
	pour l'extraction	4,60
		18,75

Dans ces conditions, les exploitations ne pouvaient couvrir leurs frais qu'en donnant un minimum de 50 p. 100 de schiste utile.

Aujourd'hui on a organisé, à la Grand'Maison (Trélazé) et à la Forêt, près Segré, la méthode dite en remontant[1]. On admet que

[1] Il y a un grand intérêt dans les ardoisières à y voir clair pour la manœuvre des énormes blocs que l'on cherche à débiter le moins possible ; aussi la lumière électrique est-elle adoptée même dans les chantiers plus restreints de la méthode en remontant dont nous allons parler.

la production par ouvrier d'à bas est ainsi d'environ $1^{mc},660$; ce qui représente 2 fr. 75 d'abatage, auxquels il faut ajouter 7 fr. 40 à 0 fr. 75 par mètre cube de remblai. Le prix de revient par mètre cube utile est estimé dès lors à 17 fr. 40 pour une proportion de 50 p. 100 de schiste utile, à 12 fr. 75 pour une proportion de 80 p. 100.

On distingue les qualités suivantes : carrée fine, gros noir, poil noir, poil taché, poil roux, cuite, héridelle, coffine et écaille.

Les environs d'Angers ont fourni longtemps de 75 à 80 millions d'ardoises par an, dont près des sept huitièmes pour l'exportation. Actuellement, cette industrie subit une crise sérieuse par suite de la concurrence des autres matériaux servant à la couverture des toits. En 1890, on évaluait le stock à 200 millions d'ardoises (représentant 4 millions de francs) et le personnel, qui avait été de 3 000 ouvriers avant 1870, était réduit à 2000. En même temps, le prix de vente s'était abaissé de 30 francs le mille au-dessous de 20 francs[2]. Voici d'ailleurs (page 235) quelques renseignements statistiques[3] :

Bibliographie.

* 1863. Blavier. — Sur l'industrie ardoisière d'*Angers*.

1879. Maumené.— Sur la composition de l'ardoise. C. R., t. LXXXIX, p. 243, Paris, 1879.)

1880. Blavier. — Sur l'éclairage des ardoisières. (*Ann. d. M.*, 1re liv.)

1883. Blumard. — Les carrières d'ardoise à *Angers*. (*La Nature*, n° 525-544, p. 130. Paris, 1883.)

1888. Blavier. — Sur la résistance du schiste ardoisier d'Angers d'après les expériences de M. Pierre Larivière.

* 1891. Ichon. — Sur l'exploitation souterraine des ardoisières d'*Angers*. (*Bull. Soc. Ind. Min.*, 3e série, t. IV.)

1892. L. de Launay. — Notes de voyages inédites.

[1] A la *Grand'Maison*, on exploite de bas en haut, en remblayant à mesure, d'énormes chambres comparables à celle de l'ancienne méthode en descendant. A la *Forêt*, on a déterminé, au moyen d'un traçage préalable, une vingtaine de chambres plus petites où l'abatage se fait de même. Par cette méthode en remontant, on a peut-être une voûte moins sûre; mais on évite les accidents graves dus au glissement subit de masses énormes.

[2] Les grandes pièces qui se vendent environ 60 francs le mètre carré sont une des principales sources de bénéfice.

[3] Dus à M. Laurent, Ingénieur des Mines.

		ANNÉES	NOMBRE D'OUVRIERS	ARDOISES PRODUITES	VALEUR DES ARDOISES PRODUITES	SALAIRES PAYÉS
Les ardoises de Trélazé et celles de La Pouëze sont sur la même bande ardoisière, qui comprend plusieurs veines.	*Ardoisières du centre d'Angers* (Trélazé)	1883	2.800	215.600.000	5.200.650,00	»
		1884	3.029	215.000.000	5.068.617,00	»
		1885	3.000	217.874.677	4.987.640,00	3.083.139,00
		1886	2.600	185.838.000	4.307.270,00	2.506.540,00
		1887	2.555	194.026.400	4.531.000,00	2.563.534,00
		1888	2.537	179.826.000	4.292.714,00	2.356 161,00
		1889	2.400	172 473.000	3.842.344,00	2.200.649,00
		1890	2.300	165.812.000	3.528.106,00	2.164.082,00
		1891	2.121	137.276.147	3.002.250,00	3.083.480,00
	Ardoisière de La Pouëze	1883	»	»	»	»
		1884	90	2.251.000	46.788,00	75.499,70
		1885	110	5.837.000	121.351,00	90.932,55
		1886	110	7.548.600	159.650,00	92.580,35
		1887	119	9.575.700	201.568,00	107 094,75
		1888	126	10.035.000	218.178,00	114.947,00
		1889	140	8.707.000	174.749,00	114.616,00
		1890	120	8 375.800	165.087,00	112.062,00
		1891	109	2.983 900	57.007,40	71.572,85
Ces deux ardoisières sont sur la même bande de schiste ardoisier.	*Ardoisière de la Forêt*, commune de Combrée (près Segré)	1883	»	»	»	»
		1884	30	»	7.304,00	35.049,78
		1885	120	»	82.504,00	148.020,60
		1886	280	11.419.700	222.113,00	257.000,00
		1887	246	13.109.900	314.637,00	247.861,00
		1888	309	19.459.000	424.557,00	329.507,00
		1889	325	11.600.000	»	»
		1890	322	14.832.490	329.888,45	293.194,10
		1891	384	15.000.000	400.000,00	230.000,00
	Ardoisière de Misengrain, commune de Noyant-la-Gravoyère	1883	»	»	»	»
		1884	125	10.707.300	246.267,00	140.625,00
		1885	120	8.827.260	203.000,00	129.600,00
		1886	»	»	»	»
		1887	206	11.699.200	257.382,00	170.174,00
		1888	239	5.099.870	102.697,00	123 780,00
		1889	Pas d'exploitation en 1889	»	»	»
		1890	121	5.092.200	92.043,73	73.032,17
		1891	135	4.560.000	94.000,00	65 400,00

ARDOISES DU PAYS DE GALLES

On exploite, dans le Shropshire, le Flintshire, le Denbighshire, le Carnarvonshire, le Merionetshire et le Montgommeryshire, des ardoises appartenant aux terrains cambrien et silurien. Ces divers terrains forment des zones dirigées Nord-Est-Sud-Ouest et, si on les parcourt de l'Ouest à l'Est, on rencontre une série de veines d'ardoises dont chacune donne lieu à des exploitations[1].

Sur la première à l'Ouest, située dans le cambrien inférieur, on a les carrières de Penrhyn (Bethersda) : 2 800 ouvriers; de Dinowic (Llanberis) : 2 757 ouvriers.

Sur la ligne n° 2, dans les *lingula flags* (Olénidien), une seule ardoisière, celle d'Arthog, a donné de bons résultats.

Au contraire, dans le silurien, particulièrement dans l'assise de Llandeilo traversée par des filons-couches de *greenstone*, on a les ardoisières de Palmerston et de Llechwedd (Blaenau) ; de Cwm Orthin (Than y Grisiau), etc., dans le district de Festiniog, qui occupent chacune environ 500 ouvriers. Les ardoises sont gris bleu et très analogues à celles d'Angers.

Enfin, dans les couches siluriennes de Wenlock en Shropshire, on extrait, par an, environ 20 000 tonnes.

L'exploitation se fait tantôt à ciel ouvert, tantôt souterrainement: par gradins inclinés avec piliers abandonnés à Festiniog; par tranches horizontales avec piliers abandonnés à Corris ; par gradins renversés avec ou sans piliers abandonnés à Cwm Croesor près Tan y Bulch.

La production annuelle du North Wales en ardoises manufacturées était estimée, en 1886, à 500 000 tonnes, dont 30 000 tonnes de dalles, et le reste pour toitures. En 1878, elle était évaluée à 700 000 tonnes ; depuis, elle a été en décroissant.

Cette production se répartit approximativement comme suit, entre les différents centres (1886) :

[1] Voir, au chapitre du Manganèse, une petite carte de la région.

Penrhyn quarry et environs	135 000 tonnes	3 500	ouvriers.
Llanberis	125 000 —	3 500	—
Festiniog	140 000 —	4 000	—
Nantle	45 000 —	1 500	—
Corris	35 000 —	1 200	—
Llangollen et prolongement	20 000 —	800	—
	500 000	14 500	

représentant une valeur de 32 millions.

En supposant que le rendement total moyen de schistes exploités ne soit guère que de 1/15, on voit que la production ci-dessus nécessite chaque année l'extraction de 2 500 000 mètres cubes de schistes (7 500 000 tonnes).

Le prix de revient approximatif de la tonne de schiste extraite et transformée en ardoises peut s'estimer à 28 ou 29 francs. En ajoutant les frais généraux, travaux préparatoires, etc., on arrive à 56 ou 58 francs.

Les ouvriers sont payés en moyenne :

Fendeurs, scieurs, rondisseurs, raboteurs	7,50
Mineurs	5,00
Manœuvres	4,35

La production est écoulée surtout par mer : partie en Angleterre, partie à l'exportation, principalement en Allemagne et en Amérique.

Bibliographie.

1878. Davies. — A treatise on Slate and Slate quarrying.
1881. Hicks. — Geol. magazine. (*Q. J. of the g. Soc. of London.*)
1883. Hunt (Robert). — Mineral statistics of the United Kingdom.
* 1884. Larivière. — Voyage aux ardoisières du Pays de Galles. (*Ann. d. M.*, 8e série, t. VI, p. 505.)

TOPAZE

La topaze est un silicate d'alumine fluoré. En joaillerie, on estime surtout les topazes d'un jaune riche du Brésil et la topaze rouge qu'on appelle improprement topaze du Brésil. Les *topazes*

brûlées peuvent s'obstenir en chauffant des topazes dans un bain de cendres ou de sable : ce qui altère peu leur dureté.

Le gisement habituel de ce minéral est dans les filons stannifères ou les granulites, en compagnie du quartz et de la tourmaline. On en rencontre également dans des trachytes.

Au point de vue de sa genèse, il y a lieu de noter la présence fréquente, dans les topazes, d'inclusions liquides à bulle mobile, chargées de petits cristaux, les uns cubiques, les autres rhombiques, qui se dissolvent dans le liquide lorsqu'on élève la température et se régénèrent par refroidissement. Ces inclusions, longtemps considérées comme de l'acide carbonique liquide, seraient, d'après Nordenskiold, constituées par un carbure d'hydrogène.

On considère généralement la topaze comme formée par l'action de la vapeur d'eau sur des composés fluorés ou borés. M. Friedel est arrivé à la reproduire en partant de cette idée.

A l'état microscopique, elle fait parfois partie intégrante des minéraux de seconde consolidation de pegmatites ; ainsi au Schneckenstein près d'Auerbach en Saxe. D'après M. Michel Lévy, la granulite de Montebras (Creuse) en serait criblée.

Des cristaux de plus grande taille se rencontrent en druses dans la granulite : dans l'Oural, à Alabaschka, près Mursinka, environs d'Ekaterinenburg[1] ; aux monts Adun Tschelon (Sibérie) où ils sont associés à des émeraudes ; aux monts Ilmen, district de Nertchinsk ; en Irlande, dans les Mourne Mountains ; en Moravie, à Rozena.

On en trouve dans les filons stannifères d'Altenberg, d'Ehrenfriedersdorf (avec fluorine violette, apatite et herdérite), de Geyer en Saxe, de Zinnvald en Bohême ; du mont Saint-Michel (avec apatite) et de Huelkind près Sainte-Agnès, en Cornwall.

A Schnecrkenstein en Saxe, le topaze forme, avec tourmaline et quartz, une sorte de roche particulière nommée topazosème par Hauy, d'où proviennent les topazes dites de Saxe en cristaux courts très nets d'un jaune paille.

Au Brésil, M. Gorceix a décrit en détail les célèbres gîtes de topazes et euclases (silicate de glucine analogue à la phénakite et

[1] Voir plus loin le paragraphe relatif aux gemmes de l'Oural.

associé, avec elle, à la topaze et à l'émeraude) de *Boa-Vista*, aux environs d'Ouro-Preto. Il a constaté que les minéraux occupaient une fente au milieu des schistes micacés de la région, fente qui est en rapport avec une des principales dislocations de la province de Minas-Geraes. Ces topazes de Boa-Vista sont généralement taillées et classées à Rio-Janeiro, puis transportées à Lisbonne.

Certains échantillons de Monroë (Etats-Unis) semblent provenir d'un gisement analogue.

Enfin, beaucoup des topazes utilisées en joaillerie, et souvent les plus belles, proviennent de gîtes d'alluvions (sables diamantifères de Minas-Geraes, sables aurifères de la rivière Sanarka, gouvernement d'Orenbourg, de Ceylan, etc...).

Bibliographie.

1809. Jameson (R.). — On the topaz of Scotland.
1848. de Quatrefages. — Les pierres précieuses. (*R. d. Deux-M.*, 15 août 1848.)
1855. Babinet. — Diamant et pierres précieuses. (*R. d. Deux-M.*, 1er mars 1855.)
1866. Korscharow. — Catalogue des topazes russes (en russe). (Saint-Pétersbourg.)
1880. Jannetaz. — Diamant et pierres précieuses. (*R. d. Deux-M.*, 15 août 1880.)
1881. Gorceix. — Topazes d'Ouro-Preto. (*Annaes da Escola de Minas de Ouro Preto.*) — (Extrait dans le *Bull. des Ann. des M.*, 1881, p. 50.)
Descloiseaux. — Minéralogie, p. 477.
1882. de Lapparent. — Minéralogie, p. 367.
1886. Boutan. — Le diamant, p. 134. (*Sur les topazes de Boavista*).
1888. Davies, p. 19.

ÉMERAUDE

L'*émeraude* est un silico-aluminate de glucine. Son emploi comme gemme est très ancien ; les Romains la tiraient du mont Sabara en haute Égypte, et on en a trouvé des bijoux dans les ruines d'Herculanum. Pendant les trois derniers siècles, la grande

source d'émeraudes a été la vice-royauté de Santa-Fé, au Pérou, d'où viennent les plus gros cristaux connus. Par son prix, elle se classe après le diamant et le rubis. Pour faire valoir sa couleur, on la taille généralement avec une table au-dessus et des facettes tout à l'entour et au-dessous.

Aujourd'hui, les émeraudes les plus renommées proviennent de la Grenade, du Brésil et de l'Hindoustan.

Au point de vue géologique, les gisements sont de plusieurs natures : 1° granulites et gîtes stannifères ; 2° micaschistes ; 3° calcaires métamorphiques.

1° Granulites et gîtes stannifères. — Nous citerons les pegmatites de l'*île d'Elbe* qui renferment de jolis cristaux d'émeraude incolores ou rosés très éclatants, implantés dans des géodes avec quartz et tourmaline ;

Les pegmatites de la *Vilate,* de *Chanteloube,* de Bessine, etc... près Limoges (Haute-Vienne), où les émeraudes à l'état de masses cristallines plus ou moins translucides atteignent souvent des dimensions considérables ;

Les granulites des environs d'Autun (Saône-et-Loire) ; la protogine du mont Blanc d'où M. Michel Lévy en a rapporté récemment, etc.

Au Brésil, le principal gisement est le *Rio San Matteo ;* dans l'Hindoustan, *Canjargum.* En *Sibérie,* on trouve dans l'Altaï des cristaux de béryl bleu qui atteignent 1 mètre de long sur 15 centimètres de diamètre.

En dehors de l'Altaï, les principaux centres de la Sibérie sont : la mine d'émeraudes de la rivière *Tokowoia* près d'Ekaterinenburg, dont nous parlerons plus loin comme gisement dans les micaschistes ; la côte Est du lac Ilmen près des usines de Miask (dans des veines de quartz avec feldspath vert et topaze) ; les monts *Adun Tschelon* où l'émeraude se présente dans une roche de topaze et de quartz analogue à celle que nous avons citée en Saxe[1].

[1] L'École des Mines possède de nombreux échantillons de ce giseme t. Voir plus loin le paragraphe relatif aux gemmes de l'Oural.

Comme filons d'étain, mentionnons : Ehrenfriedersdorf en Saxe, Schlaggenwald en Bohême, etc.

L'émeraude existe fréquemment dans les granulites à l'état de cristaux hexagonaux microscopiques de première consolidation.

2° Micaschistes. — La mine de la rivière Tokowoia en Sibérie renferme des émeraudes d'un assez beau vert, mais généralement peu transparentes, en noyaux empâtés dans le micaschiste; elles sont associées avec de la phénacite, de la cymophane, de l'apatite, du rutile, de la fluorine, etc...

Au mont Sabara d'où provenaient les émeraudes antiques, elles sont également, d'après M. Caillaud (de Nantes), implantées dans un micaschiste. Une émeraude célèbre de ce gisement orne le sommet de la tiare du pape. De là venait aussi, sans doute, la pierre dont, suivant Pline, Néron se servait comme d'un verre grossissant pour regarder les jeux du cirque.

On cite également, dans le micaschiste, les émeraudes de la vallée de Henbach près Salzbourg, celles des Mourne Mountain en Irlande, etc...

3° Calcaires. — L'émeraude, que ses gisements habituels rattachent aux actions minéralisatrices ayant accompagné les granulites, se développe dans quelques gisements au milieu de calcaires assez récents, comme un minéral de métamorphisme; c'est le cas dans la mine célèbre de *Muso* et aux environs de Bogota en Nouvelle-Grenade, d'où proviennent les cristaux les plus renommés pour leur transparence et leur belle couleur.

Les émeraudes de Muso sont réparties en veines avec des cristaux de quartz, pyrite et calcite, au milieu d'un calcaire bitumineux noir très fossilifère et de schistes noirs appartenant au terrain néocomien. Le calcaire lui-même renferme de nombreuses émeraudes microscopiques et une assez forte proportion de glucine qui semble y avoir été introduite par une action chimique postérieure.

Les émeraudes, lorsqu'elles sortent de la mine, sont, dit-on, tellement fragiles, qu'il suffit de les presser un peu dans la

main pour les briser, mais elles se durcissent rapidement à l'air [1].

On peut rapprocher de ce gîte de Muso des gîtes d'émeraudes de la haute vallée de l'Hauach, en *Algérie*, décrits autrefois (en 1855) par M. Ville.

Ces gîtes sont situés à 15 kilomètres à l'Est de Blidah, à l'Oued Bouman. En ce point, des assises plus ou moins tourmentées de calcaire cristallin considéré comme crétacé et de gypse sont recoupées par des roches éruptives. Le gypse a été attribué par M. Ville à la transformation sur place du calcaire par des vapeurs sulfureuses. Les émeraudes se trouvent dans le calcaire et dans le gypse.

Le calcaire crétacé est, au voisinage, d'une couleur gris bleuâtre et à structure très compacte. Au gisement même, il est bleu, très cristallin et passe à un véritable marbre. Les transitions du calcaire au marbre peuvent s'observer facilement, car elles se font sur un espace assez restreint. Entre le calcaire saccharoïde et les marnes secondaires encaissantes, il y a une puissante couche de conglomérats calcaires dans lesquels on trouve également des émeraudes atteignant la grosseur d'un grain de blé.

Le gypse blanc constitue un amas enclavé dans le calcaire saccharoïde, et l'on voit souvent dans un même bloc des bandes parallèles de gypse et de calcaire. C'est leur allure réciproque qui a fait croire à une transformation sur place. Au contact du gypse, on remarque des dolomies jaunes cristallines facilement égrenables. Le gypse, en outre de l'émeraude, renferme de la pyrite.

D'après M. Ville, le développement des gemmes serait dû au voisinage de roches éruptives qu'il décrit comme des diorites. Mais le fait ne paraît pas démontré.

Pour nous faire une idée sur le *mode de formation de l'émeraude*, nous ajouterons à ces descriptions de gisements quelques mots sur les inclusions observées dans ce minéral et la façon dont on a réalisé sa synthèse.

Ces inclusions sont abondantes et assez caractéristiques : dans le béryl de Montjeu, près Autun, on aperçoit déjà, à un grossisse-

[1] Les mines de Muso avaient été reconnues dès le premier voyage de Fernand Cortez qui en avait rapporté cinq beaux joyaux qu'il refusa, paraît-il, à la femme de Charles-Quint, pour les donner à sa fiancée.

ment de 80 diamètres, de grosses inclusions aqueuses souvent hexagonales, à côté d'autres inclusions de très petite taille et de même nature. Ces diverses inclusions ne sont pas rangées en files comme dans le quartz, mais régulièrement semées dans certaines plages du minéral.

M. Sorby a constaté, dans certaines émeraudes, des inclusions doubles à acide carbonique, et d'autres contenant un minéral cubique.

D'après ces inclusions et la nature des gisements, la genèse de l'émeraude serait à rapprocher de celle des autres minéraux de l'étain.

Il est possible cependant que, dans les calcaires métamorphiques, on doive faire intervenir la seule action des carbonates alcalins.

Ebelmen a d'ailleurs obtenu la synthèse de l'émeraude (1848) en soumettant, à l'action d'une très haute température des mélanges en proportions diverses d'acide borique et d'émeraude naturelle pulvérisée.

Bibliographie.

1848. De Quatrefages. — Les pierres précieuses. (*R. d. Deux-M.*, 15 août 1848.)

1855. Ville. — Emeraudes de l'Hauach. (*B. S. G.*, 2e, 13, p. 30.)

Caillaud. — Emeraudes du Mont-Sabara (Egypte).

Lewy — Emeraudes de Muso (Nouvelle-Grenade).

1880. Jannetaz. — Diamant et pierres précieuses. (*R. d. Deux-M.*, 15 août 1880.)

1888. Pyliaeff. — Les pierres précieuses, leurs propriétés, leurs gisements et leurs emplois (en russe). (Saint-Pétersbourg, in-8° de 390 pages.)

GRENATS

Le grenat est un silicate double de bases sesquioxydes (alumine, oxyde de fer ou de chrome) et de bases protoxyde (CaO, MgO, FeO, MnO, CrO) répondant à la formule $3\,RO.\,R'^{2}O^{3}\,3\,SiO^{2}$. Il comprend un certain nombre de variétés : grossulaire, alamandine, pyrope, mélanite, etc.

C'est un corps extrêmement répandu dans la nature aussi bien en grands cristaux qu'à l'état microscopique.

Le grenat peut se présenter rarement comme élément de première consolidation, le plus souvent comme résultat d'actions secondaires médiates.

Comme élément de première consolidation (paraissant toutefois appartenir au terme extrême de ce stade), il est surtout abondant à l'état d'almandine dans les *granulites*, en particulier dans les veinules de granulite introduites dans des schistes anciens et dans les leptynites paraissant plus ou moins contemporaines des couches supérieures de gneiss où elles sont interstratifiées ; il est possible qu'alors il résulte de la remise en mouvement des éléments calcaires qui pouvaient se trouver dans le terrain sédimentaire ayant fourni le gneiss et le micaschiste.

La *diorite* contient parfois du grenat en telle quantité qu'on a cru devoir le considérer comme élément essentiel de la roche et donner à celle-ci un nom spécial (éclogite, kinzigite, etc.). On peut faire remarquer la relation de la plupart des pointements de diorite intercalés dans le terrain primitif, d'une part avec les leptynites granulitifères dont nous venons de parler, d'autre part avec les amphibolites et schistes chloriteux que nous décrirons tout à l'heure.

Il y a lieu de rattacher aux gisements dans les roches éruptives la présence fréquente de la mélanite dans les *roches leucitiques* : leucitophyres (Rieden, Perlerkopf, région du lac de Laack) ; leucotéphrites (Vésuve, Capo di Bove près Rome) ; leucitites (Vultur, près Melfi). Cependant le grenat n'y figure jamais qu'à l'état d'élément accessoire. Il est rare dans les labradorites et les basaltes, fait défaut dans les andésites, les trachytes, etc,.. On l'a trouvé comme résultat d'actions secondaires médiates dans des *nodules à wollastonite* enclavés au milieu des laves et particulièrement dans celles de la dernière éruption de Santorin.

Un second mode de gisement où le grenat résulte d'actions secondaires, ce sont les gneiss, micaschistes, schistes chloriteux, schistes amphiboliques, serpentines et calcaires cristallins. C'est là surtout qu'il se présente en abondance très grande. Dans certains cas comme pour les *amphibolites* et les *cornes vertes* du cambrien

qui en sont pétries, il est difficile de retrouver exactement son mode de formation ; cependant on peut admettre qu'on est là en présence d'anciens bancs calcaires intercalés dans les terrains gréseux et schisteux transformés en micaschistes et où des actions métamorphiques ont produit : d'une part, l'amphibole (silicate de chaux, magnésie et fer qui semble toujours résulter d'une transformation de minéraux antérieurement existants), et, d'autre part, le grenat.

Ce développement de grenats par l'influence d'actions ferrugineuses sur des calcaires est très nettement visible dans les *calcaires cristallins* qui sont particulièrement riches en grenats dans certaines localités, en particulier dans les mines de fer du Banat où le grenat passe au haut fourneau comme minerai de fer.

Nous nous contenterons de citer quelques types de ces gisements :

En Sibérie près du fleuve Wilni, on trouve le grossulaire avec l'idocrase dans une gangue serpentineuse; aux environs de *Slatoust* (Oural) dans un schiste chloriteux. Le gisement classique d'*Ala* (Val de Lanzo, Piémont), renferme une association de grossulaire, diopside et clinochlore.

En France, on peut citer les environs de Chalanches en Dauphiné et les montagnes qui entourent Collobrières (département du Var), où les grenats (almandine et mélanite) sont disséminés dans des gneiss avec fer oligiste, fer oxydulé, staurotide et disthène; en Allemagne, les serpentines à pyrope de *Zœblitz* en Saxe et de la vallée de *Krems* en Bohême.

Les couches de fer oxydulé des environs d'*Arendal*, enclavées dans le calcaire, en renferment des quantités notables (variété colophonite).

Un conglomérat calcaire, paraissant appartenir aux dépôts les plus modernes de la formation des lignites, en contient au *Stiefel-Berg* près Merowitz en Bohême avec zircon, topaze, pléonaste, corindon, tourmaline, quartz, etc...

Les cristaux les plus remarquables par leur dimension ou leur couleur se trouvent au *Groënland;* près de *Garbenberg*, dans une couche de cuivre pyriteux, et à *Falun* en Suède ; dans l'*Oural;* au *Saint-Gothard;* en *Saxe;* en *Sibérie;* en *Tyrol;* aux *États-Unis.*

En outre, comme toutes les gemmes, il se présente concentré dans des alluvions.

Pour achever d'éclairer son mode de formations, nous dirons quelques mots de ses inclusions et de sa synthèse.

L'almandine est riche en *inclusions*[1]. On y observe fréquemment des cavités à gaz qui parfois sont relativement volumineuses et qui, dans un grand nombre de cas, sont de forme dodécaédrique régulière.

On y voit aussi des inclusions vitreuses. Mais les inclusions les plus communes sont cristallines (quartz, fer oxydulé, hornblende, tourmaline, apatite, etc.).

Le pyrope et le mélanite sont ordinairement dépourvus d'inclusions.

Les *expériences synthétiques* ont permis de reproduire le grenat par fusion de ses éléments (Von Kobell, Mitscherlich, etc.). Au contraire, le chlorure et le fluorure de silicium à haute température ne semblent pas susceptibles de l'engendrer. Ce qui concorde bien avec son mode de gisement, très différent de celui des minéraux stannifères.

Gisements industriels. — Au point de vue industriel, nous ne parlerons que de deux mines de grenat (pyrope). La première est celle de *Dlaskowitz*, à 60 kilomètres au Nord-Ouest de Prague en Bohême; la seconde se trouve dans l'Oural.

A *Dlaskowitz*, le grenat se présente dans des graviers de 2 à 4 mètres d'épaisseur reposant sur le terrain crétacé et composés de débris fortement altérés de basalte, de gneiss, de psammite et de calcaire; ce gravier contient une forte proportion de sables quartzeux et de pierres dures, parmi lesquelles dominent le pyrope et le zircon; on y trouve aussi du spinelle rose et noir, du corindon hyalin bleuâtre, de la chrysolite, de la tourmaline, du pyroxène, de l'amphibole, etc... En 1870, on y a rencontré, dit-on, un diamant de 57 milligrammes.

Dans l'Oural, on exploite, près de l'usine de *Polewsk* (district de Sisertsk)[2], une variété particulièrement belle de grenat qui fut

[1] Voir Michel Lévy et Lacroix. Les minéraux des roches.

[2] 1878. — Richesses minérales de la Russie, p. 122.

d'abord prise pour du chrysobéryl. Ce minéral se trouve dans une roche serpentineuse et ressemble beaucoup à l'émeraude dont il diffère seulement par sa dureté relativement faible.

Il est transparent, d'un vert un peu jaunâtre ou d'un vert d'émeraude quand il contient un peu de chrome, d'un éclat très grand.

On en fabrique de fort beaux bijoux.

GEMMES DIVERSES DE RUSSIE

Comme autres silicates employés quelquefois à l'état de gemmes, nous nous contenterons de signaler les cymophanes ou chrysolites, les péridots, les phénakites; on utilise également, ainsi que nous l'avons dit plus haut, pour pierres d'ornement, les pierres d'amazone, les lapis-lazzuli, les malachites, etc. Sans décrire en détail les gisements de ces diverses substances, nous nous bornerons à quelques indications sur une région où un grand nombre d'entre elles sont rassemblées, la Russie (monts Ilmen, Sibérie, etc.).

Dans les *monts Ilmen* (au Sud de l'Oural, près de Miask), les minéraux précieux se trouvent principalement dans des filons de granite vert de 2 mètres d'épaisseur traversant les gneiss. La roche est formée d'orthose vert (variété pierre d'amazone), de quartz, de mica noir et d'albite. On y trouve, soit dans la roche même, soit dans des cavités remplies d'argile, de belles topazes, des émeraudes, des phénakites, etc.; l'une de ces veines renfermait un nid de cryolite. Les cristaux de pierre d'amazone atteignent parfois 15 centimètres et ont, en raison de leur belle couleur, une assez grande valeur.

Le zircon se rencontre, dans la même région, en cristaux souvent très grands (l'un avait 17 centimètres de long et 10 de large) dans des veines de granite analogue. Il est parfois accompagné de sphène.

Les gisements de corindon des monts Ilmen se trouvent dans des filons de granulite à grain fin traversant le gneiss. On trouve les minéraux accumulés par places ; quelques-uns d'entre eux

ont atteint 30 centimètres, et souvent leur couleur est assez belle pour qu'on puisse les employer comme saphirs dans la bijouterie.

A *Monczinka*, à 100 kilomètres au Nord-Est d'Ekaterinenburg, il existe des mines célèbres de topaze, émeraude et tourmaline. Ces minéraux se trouvent dans des granulites, en filons dans le gneiss ou dans le granite, et ont cristallisé, soit dans la pâte même, soit dans des géodes, soit dans une argile dont ces cavités sont remplies. Les parties pegmatoïdes de ces granulites forment la pierre hébraïque qu'on utilise pour l'ornement.

A *Chaïtanka* (72 kilomètres au Nord d'Ekaterinenburg), on exploite des mines analogues d'émeraude et de phénakite, mines exceptionnelles pour la dimension des cristaux rencontrés. Le gisement est là dans des schistes micacés.

Les gisements de cuivre de *Tourinsk*, de *Medjnoroudiansk* et de *Goumechewks* sont très riches en divers minéraux dont le seul utilisé est la malachite.

Enfin quelques mines de sables aurifère, en particulier celles de *Sanarsk* (à 50 kilomètres à l'Est-Nord-Est de Troitsk) contiennent tous les minéraux qui accompagnent le diamant au Brésil : euclase, rubis, saphir, topaze, disthène, zircon, rutile, etc...

Un diamant a été trouvé, dit-on, à *Krestowosdwigensk*, district de Bisersk.

En Sibérie, il existe des mines d'émeraudes et de phénacites à Strétensk et à la Takowaia; d'émeraudes et de topazes à Mursinsk et à Alabaschka; d'améthystes à Süsükowa; de tourmalines à Sarapulki; enfin de rubis à Kornilowsk; les émeraudes, phénakites et topazes sont dans des granulites; les rubis[1] dans des alluvions. Toutes ces mines appartiennent à l'État.

Bibliographie.

1866. Zerrener. — La mine de rubis de Kornilowsk (Sibérie). (*B. u. H. Z.*, 25e année ; cf. *Cuyper*, t. XX, p. 329.)

1888. Pgliaeff. — Les pierres précieuses. (Saint-Pétersbourg, 1 vol. in-8°.)

[1] Nous reviendrons sur les rubis, saphirs et corindons au chapitre de l'aluminium.

BORE

Éq. = 11 P. *at.* = 11

On sait que le bore présente, avec le carbone et le silicium, certaines ressemblances de propriétés physiques mises en lumière par Sainte-Claire-Deville et Wœhler, en particulier celle d'exister à l'état amorphe et adamantin. L'analogie ne paraît pas se poursuivre dans les composés chimiques.

Usages. — Le bore est utilisé sous deux formes : acide borique et borax ou borate de soude.

L'*acide borique* sert pour imprégner les mèches des bougies stéariques de manière à en fondre les cendres et à les volatiliser. On l'emploie également dans la préparation de la crème de tartre soluble.

Le *borax* ou borate de soude se trouve dans le commerce à deux états d'hydratation différents : le borax ordinaire NaO, HO, 2 BoO^3 + 9 HO, contenant 47,2 p. 100 d'eau et le borax octaédrique qui n'en contient que 30,8; le premier obtenu par cristallisation à la température ordinaire, le second au-dessus de 60.

Les usages du borax sont fondés sur sa propriété de dissoudre des oxydes.

C'est ainsi que, pour faire une soudure métallique, on saupoudre de borax en poudre les pièces à souder et on les porte au rouge. Le borax, ayant pour effet de décaper la surface des deux métaux, permet à la soudure de prendre. Les usines où l'on travaille les métaux sont, par suite, les plus anciens et les plus importants consommateurs de borax. Depuis 1850 environ, mais surtout depuis une dizaine d'années, on a commencé également à utiliser le

borax en proportion notable dans la verrerie, la poterie et les arts céramiques.

La production du borax dans le monde s'est accrue assez fortement à la suite de l'essor de l'industrie métallurgique.

Vers 1840, 1 000 tonnes suffisaient par an à tous les marchés ; en 1854, on en consommait environ 2000, dont 1 300 tonnes provenant de la Toscane et 700 de l'Inde.

A ce moment, les Anglais avaient le monopole de la production de Toscane et, en achetant à tout prix la production de l'Inde, étaient maîtres du marché ; le borax se vendait à Liverpool un prix uniforme de 225 francs les 100 kilogrammes.

Vers 1878, la découverte des borax de Californie, puis la mise en exploitation de ceux du Pérou ont amené une baisse considérable ; en 1877, le borax ne coûtait plus à New-York que 100 francs les 100 kilogrammes (auxquels il fallait ajouter, pour l'entrée en France, un droit de douane de 216 francs par 100 kilogrammes de borax raffiné, tandis que l'acide borique italien entrait en franchise).

Dans ces dernières années, la production a été la suivante :

TOSCANE

1883. —	3 158 tonnes	valant 2 526 320 fr.	814 fr. (prix moyen.)
1884. —	2 517 —	— 1 687 050 fr.	674 fr. —

ÉTATS-UNIS. (*Californie et État de Nevada.*)

1873	Production.	1 000 000	kilogrammes.
1874	—	2 000 000	—
1875	—	2 716 829	—
1876	—	2 590 405	—
1877	—	1 863 640	—
1878	—	1 401 400	—
1879	—	792 480	—
1880	—	1 930 274	—
1881	—	2 022 702	—
1882	—	2 118 445	—

Gisements du Bore. — Le bore se trouve dans la nature sous deux formes principales : acide borique et borates divers.

L'acide borique, extrait principalement des soffioni de Toscane,

a été pendant longtemps la source essentielle du borax qu'on obtenait alors par l'action, sur ce corps, du carbonate de soude.

En outre, le borax naturel ou tinkal se trouve sur les bords de certains lacs desséchés au Thibet, dans l'Inde, en Californie, en Perse, dans l'Afrique occidentale, la Nouvelle-Ecosse, etc...

Ce sont là les gisements les plus anciennement connus ; aujourd'hui, on exploite plutôt des mélanges du borax avec d'autres borates complexes en Californie, au Pérou, en Asie Mineure.

En Californie, c'est, avec le borax, la boracite ($MgCl + 6\ MgO, 8\ BoO^3$) ; l'ulexite (borate de soude et de chaux) ; la pricéite (borate de chaux seule), etc.

Au Pérou, on retrouve l'ulexite avec un autre borate de chaux d'un blanc de neige, l'hayésine; en Asie Mineure la boracite.

On peut remarquer que les sels boriques, assez faciles à reconnaître lorsqu'on en soupçonne la présence, ne frappent pas la vue d'une manière spéciale. Aussi un grand nombre de gisements ont-ils longtemps passé inaperçus.

SOFFIONI DE TOSCANE

Les soffioni de Toscane, décrits dans tous les cours de chimie, se trouvent entre Livourne et Sienne, aux environs de Volterre. On peut citer ceux de Larderello produisant 1 700 tonnes et ceux du lago Zolfereo près Monterotondo produisant 500 tonnes. Ils sont situés dans les bassins de la Cecina et de la Cornia, au pied de petits massifs trachytiques. Il se dégage là des bouffées de vapeur d'eau contenant de l'acide borique, de l'acide sulfhydrique, de l'hydrogène carburé, de l'azote, etc... Pour recueillir l'acide borique, on creuse, autour des crevasses appelées *soffioni*, des bassins dits *lagoni* que l'on remplit d'eau. Cette eau pénètre, à certains moments, dans les crevasses, mais elle est bientôt violemment repoussée par les gaz. Après vingt-quatre heures d'agitation continuelle, l'eau des bassins est presque bouillante et contient environ 1 p. 100 d'acide borique. On la fait arriver dans d'autres bassins inférieurs où elle se concentre de plus en plus. Lorsqu'elle marque 1°,3 à l'aréomètre de Baumé, on la conduit dans des

réservoirs en plomb chauffés par la chaleur des conduits souterrains et on concentre les liqueurs jusqu'à ce qu'il se dépose un produit contenant 18 à 25 p. 100 de matières étrangères. M. Dumas, qui a étudié les gisements, attribue leur formation à la décomposition par l'eau de sulfure de bore qui existerait en profondeur. D'autres chimistes font simplement intervenir un dépôt salin ancien dans lequel l'acide borique se serait concentré comme il le fait lors de l'évaporation de l'eau de mer.

PERSE

En Perse[1], au lac Ourmiah, on extrait, d'après M. Abich, du borax d'une eau minérale qui en contient 1/2 p. 100 et qui est située à proximité d'éruptions de serpentine et d'euphotide.

BORAX DES ÉTATS-UNIS (CALIFORNIE, NEVADA)[2]

Le borax se trouve aux Etats-Unis dans deux grandes zones l'une sur le versant Est des Cost-Ranges, à l'Ouest de la Sierra-Nevada; l'autre sur le versant Est de la Sierra-Nevada, en particulier autour de la ville de Columbus, dans la région correspondant au désert de Humboldt. On le rencontre là, comme au Thibet, dans l'Inde, en Perse, etc... sous forme de produits salins efflorescents accumulés au fond de petits lacs desséchés : produits contenant, avec le borax, la boracite, l'ulexite, la pricéite, etc... Nulle part, on ne voit de filons pouvant correspondre aux fractures des soffioni toscans, ni d'amas ayant le caractère d'une formation originelle.

On a supposé qu'on avait affaire là aux résultats de la concentration de produits apportés par des sources thermales analogues aux soffioni de Toscane. On a, d'autre part, cherché à démontrer que ces borates provenaient simplement de la concentration de

[1] Daubrée, Rapports du jury de 1878, t. V, p. 226.
[2] Coll, École des Mines, 1815.

l'eau de mer dans des conditions déterminées. Il est certain que les dernières eaux-mères des marais salants contiennent, comme l'a signalé M. Dieulafait, une certaine proportion d'acide borique et que certains dépôts salins, comme celui de Stassfurt, renferment de l'acide borique qu'il faut peut-être rattacher à cette origine; mais il semble difficile d'admettre que ces faibles traces contenues dans l'eau de mer aient suffi pour constituer les gisements californiens et il est plus naturel, à notre avis, de croire ceux-ci en relation avec les éruptions de roches récentes, les geysers et les volcans de boue, si abondants dans tout le voisinage.

Passons à la description successive des deux zones :

I. — ZONE OCCIDENTALE OU CALIFORNIENNE

Cette zone comprend 4 groupes de gîtes :

1° Le *Lac de Borax*, Borax-Lake, est situé au Sud-Ouest du lac Clear, à peu de distance des geysers californiens, et dominé par des collines qu'on a nommées Sulfurbank parce qu'on les avait d'abord prises pour d'énormes masses de soufre natif, mais qui, en réalité, sont formées de tufs trachytiques simplement recouverts d'une croûte de soufre et renfermant du mercure.

Les eaux de ce lac contiennent 4 p. 100 de sels alcalins, soit 7 grammes de borax par litre d'eau :

CO^2NaO	68,8
NaCl	20,4
$2\,BoO^3NaO$	17,8

Cette eau a été exploitée d'abord par évaporation; mais on s'est aperçu bientôt que les boues du fond du lac renfermaient, sur une épaisseur de $1^m,50$ à $1^m,60$ environ, des cristaux de borax en petites nappes interstratifiées superposées elles-mêmes à une masse salifère.

Aujourd'hui l'on extrait ce borax soit au moyen de dragages, soit, dans la saison sèche, au moyen de tranchées. On obtient ainsi du borax très pur [1], contenant :

[1] C'est de là que viennent les plus beaux cristaux de borax connus.

Borax	54,40
Eau	45,55
Sulfate de soude	0,05

mais le travail est assez délicat et le lavage demande à être fait rapidement. En outre, l'exploitation est forcément intermittente.

2° Le *lac Hachinhaua* est situé à 4 milles à l'Ouest du lac de Borax.

Ce lac n'est alimenté que par les eaux atmosphériques et reste à sec en été. Il contient les mêmes sels que le lac de Borax, mais plus abondants.

On a exploité :

1° Les eaux du lac;

2° Les efflorescences salines qui se formaient en été sur le fond desséché du bassin.

L'intensité maxima de l'exploitation a correspondu, en 1872, à 250 tonnes de borax par an.

3° *Gîtes du comté de San-Bernardino.* — Ces gîtes sont situés à sept journées de marche de la station de Mohave. C'est un fond de lac desséché sur lequel il y a un dépôt irrégulier de 12 milles de long sur 8 milles de large.

A la surface, il existe un mélange de sable et de borax formant un treizième de la masse; au-dessous, le borax est en masse cristallisée avec du sel et de la thénardite.

Dans le même comté, près de Calico, on a trouvé un dépôt de *Pricéite* (borate de chaux) et, près de Dagget, un mélange de borate sodique et calcique (ulexite) avec du carbonate de soude.

4° *Gîtes du comté de Kern.* — Ce sont des dépôts analogues d'ulexite, répartis sur trois hectares, qui ont été exploités activement en 1872.

II. — ZONE DE L'EST

La zone de l'Est comprend :

1 *Gîtes du comté d'Inyo.* — Les gîtes du comté d'Inyo sont concentrés dans les vallées suivantes : *Death-Valley* (dont le point le plus bas est à 33 mètres au-dessous du niveau de la mer); *Amargosa* et *Furnace-Creek.*

Dans *Death-Valley* le borate de soude est très pur. Dans les autres vallées, il est associé à l'ulexite et, dans la vallée d'*Amargosa* spécialement, à du sulfocarbonate de soude (troua) et à de la thénardite.

De plus, la région présente des sources thermales et des volcans de boue chargés d'acide borique.

2° *Gîtes du comté d'Esmeralda.* — Les principaux sont : *a*). Colombus-Marsh; *b*). Rhodes-Marsh; *c*). Tel's-Marsh; *d*). Fish-Lake.

a). Columbus-Marsh. Ce gîte est situé à 150 milles de Carson. C'est un dépôt de 15 kilomètres de long sur 11 kilomètres de large.

Au centre, existe une croûte de sel.

Aux extrémités, l'ulexite se présente sous forme d'efflorescences ou de boules formées de filaments soyeux caractéristiques.

Le tout repose sur une argile de 0,60 d'épaisseur, au-dessous de laquelle il n'y a plus de borax.

b). Rhodes-Marsh — à 18 kilomètres au Nord-Ouest de la ville de Columbus, aujourd'hui le grand centre de production des borates en Californie.

C'est un gîte circulaire de 5 kilomètres environ de diamètre. Au centre, sur près de 2 kilomètres carrés, on trouve le borax pur; tout autour, il est mélangé : tantôt au sable, tantôt à l'ulexite, tantôt au sulfate de soude qui se trouve également au-dessous de la partie centrale.

L'analyse du minerai brut donne :

Biborate de soude	40,06	57,20
Borate de chaux	1,16	5,80
Sulfate de soude	16,00	10,70
Carbonate de soude	5,00	0,00
Chlorure de sodium	8,07	9,00
Sables, matière organique	29,71	17,30

c). Tel's-Marsh — à 24 kilomètres au Sud de Columbus.

C'est un dépôt superficiel de borax brut, d'une longueur de 9 à 10 kilomètres, d'une largeur de 4 kilomètres, d'une épaisseur de $0^m,12$ à $0^m,45$, très activement exploité aujourd'hui.

d). Fish-Lake, à 16 kilomètres au Sud de Columbus-Marsh.

Surface 4 000 hectares ; épaisseur moyenne : $0^m,20$; teneur en acide borique 20 p. 100.

Au centre, les efflorescences sont formées d'un mélange intime de borates divers et de sels alcalins.

Au Sud, une croûte mince de borax recouvre du sable imprégné de borates divers.

L'*élaboration des sels boriques* comprend :

BORAX

a. — Dissolution du borax brut dans l'eau bouillante ; concentration à 25° Baumé.

b. — Décantation de la liqueur cristalline du borax.

c. — Raffinage du borax par addition d'un peu de carbonate de soude. Décantation et cristallisation très lente.

d. — Epuration des matières organiques contenues par longue ébullition, agitation mécanique et addition de 1 500 à 1 800 grammes de glu pour 15 mètres cubes de liquide concentré.

ULEXITE

a. — Procédé anglais. Décomposition de l'ulexite par l'acide chlorhydrique. Décantation et cristallisation de l'acide borique.

b. — Procédé Formhals. Décomposition de l'ulexite en liqueur par l'acide sulfureux. Décantation et cristallisation.

c. — Procédé Robertson. Idem, plus vapeurs azotiques.

d. — Procédé Guttskow. Décomposition par l'acide sulfurique. Décantation, entraînement de l'acide borique par la vapeur d'eau dans des cylindres en fonte chauffés au rouge et condensation dans des chambres de plomb.

BORACITES D'ASIE MINEURE

L'Asie Mineure fournit, depuis quelques années, une assez forte proportion de borax.

Les gisements sont mal connus.

On cite, vers Sultan Chair, à proximité d'une route conduisant à Panderma, port sur la mer de Marmara, une exploitation de boracite appartenant à des Anglais qui produirait 6 000 tonnes (?).

Au voisinage, un gisement appartient au général Nechat Pacha, commandant la division militaire du Vilayet.

Bibliographie du Bore.

1853. Volger. — Versuch einer Monographie der Borazites. Hannover.

* 1854. Senevier. — Sur les cond. économ. de l'ind. de l'acide borique. (*Ann. des M.*, 5e série, t. VII, p. 625.)

1874. *Ann. des Mines.* Revue de géologie, 7e série, t. VII, p. 74 ; id., p. 102 (borates du Thibet).

* 25 mai 1877. Em. DURAND. — Mines de Borax de Californie. (*Soc. d'Encouragement pour l'industrie nationale.*)

1877. DIEULAFAIT. — *Ann. de chimie et physique*, 5e série, t. XII.

1878. D'ACHIARDI.— Sull' origine dell' acido borico e dei borati. (Pise, *Società toscana*, t. III, p. 252 ; *processi verbali*, t. XXVIII.)

1878. RAMMELSBERG. — D'Achiardi : ueber den Ursprung der Borsaure und der Borate. (*Zeits. der d. geol. Gesellschaft*, t. XXX, p. 148. Berlin, 1878.)

1880. KLEIN. — Ueber den Boracit. (*Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Geologie und Paleontologie*, nos 2 et 3 du t. II, p. 200. Stuttgart, 1880.)

* 1882. DIEULAFAIT. — Sur l'acide borique dans l'eau de mer. (*R. Sc.*, 8 juillet 1882, p. 37, et 19 mai 1883.)

* 1885. Borax de Californie (traduction FUCHS). (*Ann. d. M.* (*Bull.*), p. 645.)

1885. DIEULAFAIT. — Nouvelle contribution à la question de l'origine de l'acide borique. (C. R., t. C, p. 1240.)

SOUFRE

S : *Eq.* = 16; P. *at.* = 32

Usages du soufre. — Le soufre est utilisé dans l'industrie sous deux formes principales : soufre proprement dit et acide sulfurique; parmi ses composés, on emploie en outre le sulfure de carbone.

Longtemps les applications de ces divers produits ont été assez restreintes, et des gîtes peu nombreux contenant exclusivement le soufre à l'état natif (Sicile, etc...) suffirent à la consommation. Au commencement du siècle, la découverte de Leblanc, qui prit pour base de la fabrication de la soude l'acide sulfurique, changea complètement cet état de choses et donna l'idée d'exploiter divers amas de pyrite de fer qui se trouvent en Vénétie, en France (dans le Gard), en Suède et Norvège, dans le Sud de l'Espagne, etc... La marcassite cristallisée renferme 52 p. 100 de soufre ; en sorte qu'en pratique, il faut une tonne de pyrite à 50 p. 100 pour obtenir une tonne d'acide sulfurique. Le commerce du soufre et des pyrites prit peu à peu une importance de plus en plus grande et la consommation de minerais de soufre divers finit par dépasser un million de tonnes par an dans le monde. Enfin, depuis une quinzaine d'années, la découverte du procédé Schlœsing et Solvais, permettant de fabriquer la soude par l'ammoniaque et la mise en exploitation d'immenses amas de pyrite cuivreuse comme ceux de Rio-Tinto où le soufre n'était plus qu'un accessoire, ont fortement pesé sur le marché et déprécié les produits trop chers de la Sicile ainsi que toutes les pyrites impures.

Cependant l'acide sulfurique conserve, en dehors de la fabrication de la soude, un grand nombre d'applications d'une importance

considérable : en particulier le traitement des phosphates qui assure par an le placement de 600 000 tonnes de pyrite. Et le soufre lui-même à des usages accessoires suffisamment nombreux pour que la production de soufre de Sicile, malgré la baisse des prix, et en dépit de conditions locales désavantageuses, ait augmenté depuis dix ans.

C'est ainsi que l'agriculture consomme des quantités de plus en plus grandes de soufre pour le soufrage des vignes. Dans le midi de la France, on emploie aujourd'hui jusqu'à 150 kilogrammes de soufre par hectare de vignes, c'est-à-dire 6 666 pieds de vigne; en moyenne, on peut compter sur 65 kilogrammes par hectare. Pour les 1 945 000 hectares de vignes françaises et les 55 000 hectares de vignes algériennes, cela ferait déjà 130 000 tonnes de soufre. En réalité, la France en importe seulement 60 à 70 000 tonnes par an. Néanmoins en France, Italie, Espagne, Portugal, Grèce, Turquie, Algérie et Californie, ce seul usage absorbe aujourd'hui 40 p. 100 du soufre de la Sicile.

En outre, le soufre entre dans la composition de la poudre à canon et des produits pyrotechniques, dans celle des allumettes, sert pour la confection de certains moulages, pour quelques usages pharmaceutiques, pour le blanchiment de la laine et de la paille et pour la fabrication du sulfure de carbone (lui-même employé dans la vulcanisation du caoutchouc[1], le traitement du phylloxera, l'extraction de l'huile des graines oléagineuses, le traitement des matières grasses, etc...).

Enfin, en dépit de la concurrence des pyrites, l'industrie de l'acide sulfurique consomme encore une certaine proportion du soufre natif. Cela tient à deux causes diverses : d'une part et surtout, l'Amérique qui n'exploite pas de pyrites prend à elle seule 100 000 tonnes de soufre, soit le cinquième de la production du monde entier; les pyrites venant d'Europe coûteraient en effet trop cher de transport. D'autre part, il est assez rare de trouver des pyrites absolument exemptes d'arsenic, et cette présence de l'arsenic qui est, pour la plupart des dérivés, un cas de dépréciation sérieuse, devient, pour certaines applications (par exemple

[1] Il entre 8 p. 100 de soufre dans la gomme élastique, 20 p. 100 dans l'ébonite.

pour faire l'acide citrique), un cas rédhibitoire ; aussi l'Angleterre utilise-t-elle 12 000 tonnes de soufre pour l'acide sulfurique.

En résumé, le soufre a deux catégories de gisement qui, en dépit de l'excès de production mentionné tout à l'heure, conservent toutes deux leur raison d'être, le soufre et les pyrites. Les pyrites sont utilisées uniquement pour l'acide sulfurique. Le soufre a des usages divers répartis environ comme suit :

Agriculture	200.000 tonnes
Soufre pour acide sulfurique.	120.000 —
Fabrication du sulfure de carbone . . . . (8.000 en France, 10.000 en Angleterre.)	30.000 —
Poudre	50.000 —
Usages divers. (Traitement du caoutchouc, etc.)	2.000 —

La consommation du soufre dans le monde est évaluée par an à environ 500 000 tonnes.

Néanmoins, le prix moyen des minerais de Sicile qui ont, pour le soufre natif, un monopole presque absolu, a baissé, de 1880 à 1887, de 101 francs à 69 pour des causes sur lesquelles nous reviendrons.

Le tableau suivant résume la production de minerais de soufre et de pyrite dans le monde, dans ces dernières années :

MINERAIS DE SOUFRE

PAYS	1883		1887		
	Quantité en tonnes.	Prix sur place.	Quantité en tonnes.	Prix sur place.	Valeur totale.
Italie	359.663	101,39	342.000	69,28	23.694.000
Espagne.	32.691	16,65	25.000	50,70	1.267.000
Grèce	44.000	»	14.000	»	»
Russie.	346	»	13.800	»	»
Japon.	»	»	10.300	»	»
France (Vaucluse)	649	20,00	3.100	16,50	51.000
Autriche.	»	»	100	320,00	32.000

PYRITES DE FER

PAYS	1883		1887			1889		
	Quantités en tonnes	Prix sur place	Quantités en tonnes	Prix sur place	Valeur totale	Quantités en tonnes	Prix sur place	Valeur totale
France	165.000	16,20	204.000	15,00	3.072.000	203.000	14,60	2.961.000
Portugal	»	»	»	»	»	»	»	»
Prusse	149.000	11,18	99.000	9,27	918.000	108.000	8,90	961.000
Norvège	»	»	65.000	25,06	1.629.000	»	»	»
Etats-Unis (1885, pyrites de fer et de cuivre)	25.400	27,00	55.200	15,64	863.000	95.000	11,00	1.047.000
Hongrie	»	»	50 300	13,53	681.000	52.400	14,50	760.000
Canada	»	»	34.500	25,80	890.000	66.000	23,48	1.550.000
Grande-Bretagne	28.000	15,67	24.000	11,95	285.000	18.000	11,40	205.000
Italie	6.620	14,60	18.500	10,00	186.000	17.000	14,40	246.000
Autriche	9.300	28,76	11.500	25,56	294.000	10.000	29,00	290.000
Allemagne (sauf Prusse et Bavière)	100	12,30	9.000	12,30	111.000	9.400	14,20	134.000
Belgique	1.620	11,09	3.900	10,50	41.000	5.000	8,60	43.000
Suède	1.820	»	2.500	»	»	160	»	»
Bavière	2.000	14,76	1.400	10,72	15.000	1.800	12,22	22.000

La production approximative a été pour le monde entier :

	1880	1881	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889
Pyrite de fer	1.030.564	625.039	662.428	499.000	559.000	534.000	552.000	564.000	579.000	601.000
Minerais de soufre		437.429	437.492	452.000	523.000	474.000	487.000	465.000	408.000	531.000

En 1888, on a importé en France 60 000 tonnes de soufre non épuré.

Un tableau ci-joint résume ce qui est spécial à la France :

ANNÉES	PYRITES DE FER — Production	PYRITES DE FER — Excès des importations sur les exportations		MINERAIS DE SOUFRE — Production	MINERAIS DE SOUFRE — Importation
1882	180.339	E : 26.192 I : 16.796	— 9.396	649	48.126
1883	165.000	E : 21.917 I : 20.395	— 1.522	1.500	60.780
1884	166.000	E : 18.469 I : 22.395	+ 3.926	6.400	63.834
1885	168.000	E : 24.026 I : 18.350	— 5.676	3.700	60.444
1886	185.000	E : 23.519 I : 22.173	— 1.346	4.800	59.640
1887	209.000	E : 19.615 I : 24.321	+ 4.716	4.300	70 723
1888	204.000	E : 21.371 I : 30.162	+ 8.791	3.100	60.000
1889	203.000	E : 31.846 I : 39.594	+ 7.748	3.800	71.304
	211.000			75.000	

Nous décrirons d'abord les gisements de soufre proprement dits ; puis les gisements de pyrites.

1° GISEMENTS DE SOUFRE NATIF

Le soufre natif se trouve encore aujourd'hui dans les émanations volcaniques actuelles. Après une première période de fumerolles chlorurées, l'éruption d'un volcan ou simplement le refroidissement d'une coulée de laves donne des fumerolles sulfureuses auxquelles succèdent à leur tour les fumerolles carboniques et hydrocarburées. Le dégagement d'acide sulfureux abondant est une caractéristique des régions de volcans récemment éteints. Il se forme ainsi des *solfatares* comme celles de Pouzzoles au pied du Vésuve, de la Guadeloupe, etc. Quelques-uns de ces dépôts de soufre peuvent être exploités industriellement dans des proportions très restreintes ; nous citerons celui du Popocatepelt au Mexique et ceux d'Islande.

En outre, à certaines époques géologiques, principalement pour l'Europe aux deux grandes époques de formation du gypse, le permotrias et le tertiaire, des phénomènes d'un autre ordre ont donné des couches de soufre interstratifiées dont nous étudierons bientôt le type le plus important en Sicile. Ces gisements s'appellent des *solfares*.

En dehors de la Sicile, on rencontre des gîtes de soufre tertiaire en France, aux environs d'Alais et d'Apt, dans des calcaires à planorbis rotundatus. On en trouve aussi dans des calcaires à Padovic (Croatie), à Tscharkow (Pologne), dans les marnes miocènes de la province de Murcie en Espagne, dans les Romagnes, en Grèce, etc... Comme gîtes permiens, nous ne citerons que ceux du Zechstein en Russie.

A. — DÉPOTS DE SOUFRE ACTUELS (SOLFATARES)

Gîte de soufre du Popocatepelt (Mexique). — La découverte du soufre au Popocatepelt remonte à la première ascension qui fut faite de cette montagne en 1519 par deux soldats de Cortez,

Ordaz et Bornald Diaz. Cortez, ayant besoin de poudre, envoya des hommes recueillir ce soufre et on lui en apporta, non sans peine, 150 kilogrammes environ.

Depuis cette époque, le Popocatepelt, quoique d'une altitude de 5 410 mètres, est exploité d'une façon suivie. Les vapeurs sulfureuses qui remplissent le cratère déposent du soufre qui cristallise sur les roches avoisinantes. On évalue à une tonne par jour la production de ce chef.

Le meilleur soufre se recueille sur les bords mêmes des *respiradores* ou orifices de sortie des vapeurs. Il renferme 82 à 87 p. 100 de soufre pur. Le *soufre brut* est payé 3 fr. 75 les 25 livres aux ouvriers. L'exploitation est fort rudimentaire, mais serait peut-être susceptible de développement; car les Etats-Unis consomment, comme nous l'avons dit, 100 000 tonnes de soufre annuellement.

Province de Rome[1]. — En Italie, dans la province de Rome, on exploite à *Latera, Scrofane, Canale*, du soufre dont la formation est en rapport avec des phénomènes volcaniques.

Ce soufre remplit généralement les fissures et les pores d'un silicate d'alumine que le voisinage des laves a calciné; d'autres fois, il compose le ciment de couches de lapilli.

On extrait de ces gisements des minerais à 13 p. 100 de soufre environ, rendant, par le traitement à la vapeur, 11 1/2 p. 100.

La tonne de soufre coûtait il y a quelques années, indépendamment de l'amortissement et des frais généraux :

Minerai : 5 900 kilogrammes à 4 fr. 60	=	27,14
Bois : 2 500 — 15 fr.	=	37,50
Main-d'œuvre	=	18,75
		83,39

Islande. — Il existe en Islande des sources sulfureuses très intéressantes. Elles se trouvent dans une région volcanique près de Reykjalid, au Nord de l'île. On en rencontre toute une série le long d'une colline couverte d'un dépôt de sable rouge, près du

[1] Voir 1873. Pircknez, Procédés d'extraction du soufre en Italie. (*Ind. min.*, 2e, p. 609 et 825.)

lac Myvatn. Ces sources sont de deux sortes différentes, en relation d'ailleurs les unes avec les autres : 1° des solfatares où des émanations gazeuses déposent du soufre; 2° des makkalubes ou volcans de boue, d'où jaillit une eau qui est de couleur noire par suite de la présence de sulfate de fer.

Les solfatares se trouvent sur le flanc de la montagne, séparées ou par groupes. Elles sont caractérisées par une petite éminence, du centre de laquelle des ouvertures de 10 à 15 centimètres de diamètre projettent des vapeurs d'acide sulfurique, d'acide sulfureux, d'eau et d'hydrogène. Celles-ci se condensent en l'air et forment une vapeur blanche irrespirable. A la surface de la solfatare, il se dépose une croûte de soufre jaune que l'on exploite. Les makkalubes ont des ouvertures de 2 à 4 centimètres de diamètre remplies par une boue noire en ébullition qui est projetée de temps à autre jusqu'à 5 ou 6 mètres. Le soufre d'Islande est en quantité assez considérable pour être susceptible d'être utilisé.

B. — GISEMENTS DE SOUFRE TERTIAIRES

SOUFRE DE SICILE[1]

Situation économique. — La plus grande partie du soufre natif produit en Italie est due aux gisements de la Sicile.

Dans ce pays, les méthodes d'exploitation, les voies de transport, la législation minière laissent beaucoup à désirer et l'état de l'industrie soufrière s'en ressent. Nous commencerons par quelques indications sur ce point avant de passer à la description des gisements.

La propriété du fonds comporte, en Sicile, celle du tréfonds. Les terres étaient généralement louées autrefois suivant un contrat spécial, assez semblable à l'emphytéose. Moyennant une redevance très faible (12 à 15 francs par hectare), le fermier et ses descendants restaient en possession du sol sans qu'il leur appartînt en propre ; ils pouvaient, cependant, l'acquérir en payant une somme égale à la redevance annuelle capitalisée à 5 p. 100. La propriété,

[1] Coll. École des Mines, 1741, 1782 et 1783.

par ce système, est devenue très morcelée et le nombre des mines considérables ; il existe 600 solfares dans l'île, dont environ

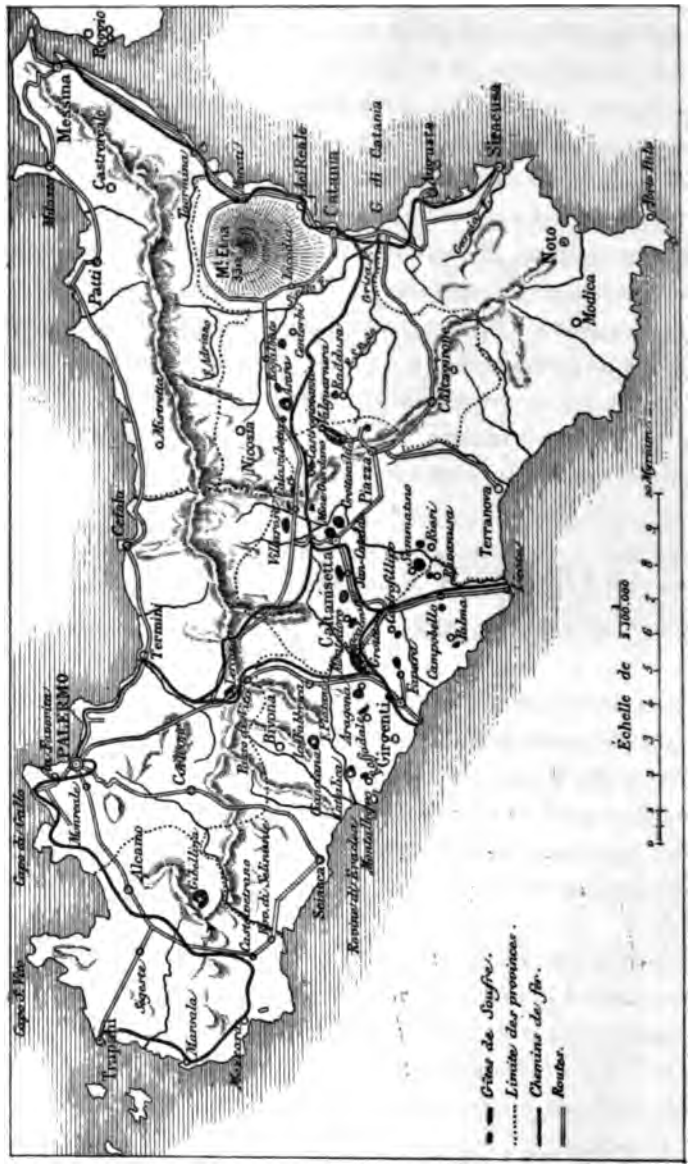


Fig. 38. — Carte des gîtes de soufre de Sicile, d'après M. Ledoux.

350 en activité, ne produisant en moyenne que 500 tonnes chacune.

Cette extrême division a amené le gaspillage des gîtes et le

maintien de mauvaises méthodes d'exploitation, en même temps qu'elle forçait tous ces petits industriels, faute de capitaux, à amener à la fois le plus vite possible sur le marché tout le soufre obtenu dans une campagne et à s'en défaire à bas prix.

En outre, les mines elles-mêmes sont pour la plupart louées à des prix exorbitants (20 à 25 p. 100 du produit brut), et pour des durées assez courtes. Aussi le fermier, n'ayant aucun intérêt à ménager le gîte qu'il exploite, l'épuise et le gaspille.

Enfin la condition des mineurs siciliens est misérable ; la méfiance et le vol sont la caractéristique des rapports entre ouvriers et patrons.

De telle sorte que les étrangers qui veulent introduire dans l'île des méthodes d'industrie plus rationnelles sont vite rebutés et arrêtés.

Il est juste cependant de remarquer que, depuis quelques années, par suite du développement donné aux voies ferrées, d'assez grands progrès ont été faits sous ce rapport ; mais il n'en existe pas moins, en Sicile, une crise très grave de l'industrie du soufre, qui dure déjà depuis plusieurs années.

Disposition géographique des gîtes de soufre. — La chaîne centrale qui parcourt la Sicile depuis Messine jusqu'à Marsala, et qu'on nomme monts Madoine, est dirigée à environ 75°. Elle est formée en grande partie de roches calcaires secondaires ; les terrains solfifères se trouvent presque tous au Sud de cette chaîne centrale, sauf le petit bassin de Lercara, dans la province de Palerme, au Nord de la chaîne.

Ils s'étendent au Sud jusqu'à la mer Libyenne, à l'Ouest dans la province de Trapani, et se terminent à l'Est près de Caltagirone. Leur plus grande largeur, de Licata à Nicosia, est de 90 kilomètres, leur longueur d'environ 160 kilomètres.

Les principaux de ces gisements sont : Lercara, Racalmuto, Caltanisetta, Grottacalda, Muglia, Sommatino, Aragona, Montedore, Gibellina, etc.

Description des gîtes de soufre. — Les minerais de soufre de Sicile forment des couches et amas importants situés à la partie

supérieure du miocène, dans le groupe à congéries. La coupe des terrains est la suivante :

Pliocène.	Marnes, sables et grès, calcaires à foraminifères dits *trubi*.
Miocène supérieur (sarmatique).	Formation gypseuse avec calcaire imprégné de *Soufre*, *Tufi* et *Arenazzoli*.
	Tripoli et marnes siliceuses farineuses, feuilletées, avec diatomées, poissons marins et d'eau douce, et lignites.
	Bancs d'argile plus ou moins bitumineux intercalés.
	Calcaire marneux des environs de Syracuse (probablement équivalent des tripolis précédents) avec Mactra Podolica.
	Marne sableuse et salée avec amas de sel gemme, macalubes, etc.

On sait que les terrains miocènes et pliocènes couvrent la majeure partie de la Sicile. Les premiers ont une épaisseur souvent très considérable, qui atteint 2 000 mètres ; ils reposent sur des calcaires à nummulites et à fucoïdes appartenant à l'éocène.

A la base du miocène, on trouve d'une façon constante des marnes, en général très épaisses, mais fort réduites en quelques points : ce qui a fait supposer des mouvements éocènes avant leur dépôt. Ces marnes, dont l'aspect général rappelle un peu le Keuper de l'Est de la France, contiennent des lentilles puissantes de sel gemme et correspondent à un premier commencement d'évaporation de la mer dans cette région. Au-dessus viennent, en général, des bancs peu épais de tripoli blanc schisteux, avec poissons[1]. Puis, sur ces tripolis, repose la formation puissante des gypses avec calcaires plus ou moins magnésiens imprégnés de soufre et bancs d'argile noire schisteuse appelés *tufi*. Ce niveau renferme quelques bancs rares et très limités de grès fins micacés, appelés *arenazzoli*.

Le niveau des gypses solfifères est recouvert à son tour par des calcaires blancs marneux à foraminifères classés dans le pliocène : les *trubi*, et ce pliocène se termine enfin par de grands bancs de marnes, sables et grès.

[1] Représentés aux environs de Syracuse par un calcaire marneux.

Tous ces terrains sont très bouleversés ; les couches, parfois horizontales, sont le plus souvent fortement inclinées, verticales ou même renversées. Le principal plissement qui traverse toute l'île est celui qui, dirigé Est-Ouest, passe à peu près par Catane.

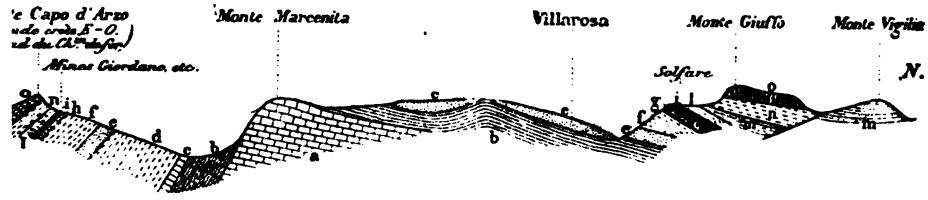


Fig. 39. — Coupe N.-S. du mont Capo d'Arzo au mont Viglia, au $\frac{1}{50000}$ pour les longueurs, au $\frac{1}{25000}$ pour les hauteurs.

a. Calcaire éocène supér. — *b*. Grès et argiles ferrugineuses (miocène infér.). — *c*. Calcaire concrétionné (miocène infér.). — *d*. Marnes et argiles salifères. — *e*. Grès et conglomérats (miocène moyen) — *f*. Marne. — *g*. Tripoli (miocène supér.). — *h*. Calcaire siliceux. — *i*. Minerai de soufre. — *l*. Gypse. — *m*. Truffi. — *n*. Marnes pliocènes. — *o*. Tufs calcaires pliocènes. — *p*. Grès et conglomérats (pliocène supér.).

La coupe ci-jointe (fig. 39) prise à l'Est de Caltanisetta, montre l'éocène (*a*) apparaissant à la voûte anticlinale, au Monte Marcenita. Des deux côtés sont deux plaines ondulées formées par les marnes et gypses, donnant par suite deux bandes solfifères parallèles ; et le pliocène forme, surtout au Sud, une grande crête qui domine constamment la ligne de chemin de fer de Caltanisetta à Catane. On peut remarquer qu'au Sud, c'est-à-dire là où se trouve l'important district minier de Caltanisetta, les tripolis et les trubi manquent. Il arrive souvent ainsi qu'un ou plusieurs termes de la série n'existent pas. Les gypses et les calcaires accompagnent seuls le soufre d'une façon constante.

Lorsqu'on examine en détail une région solfifère, on voit d'abord, à la base du gypse, une ou plusieurs couches de calcaire pénétré de soufre, couches très étendues et régulières, mais peu puissantes et pauvres. Au-dessus, toujours dans la formation gypseuse, le soufre constitue une série d'amas beaucoup plus restreints, irréguliers, et indépendants les uns des autres, mais puissants et riches.

Dans la partie inférieure, la zone exploitée comprend en général plusieurs couches (qui n'ont jamais moins d'un mètre de puissance, sans quoi on les négligerait) séparées par des *partimenti*, (lits stériles de calcaires, de marnes ou de tufi). Au mur de l'ensemble, est le calcaire stérile (le tufo) ou souvent encore directe-

ment le tripoli. Au toit, est le gypse avec ou sans interposition de calcaire stérile ou de tufo. Dans la partie supérieure, on a des amas riches situés dans le gypse, presque toujours avec intercalation de tufi. Nous donnerons plus loin, pour préciser, les coupes de diverses exploitations.

Le soufre est presque toujours amorphe, sauf dans les géodes, ordinairement d'un jaune brun et d'aspect résineux, quelquefois jaune et légèrement translucide. Il n'imprègne pas, à proprement parler, le calcaire d'une façon intime, mais s'y trouve presque toujours en petites veinules traversant les strates, en noyaux, en lentilles, assez difficiles à expliquer, si l'on admet, comme cela semble résulter de toutes les autres observations, la précipitation simultanée du calcaire et du soufre.

Le *minerai* proprement dit de soufre est un calcaire qui contient de 8 à 10 p. 100 de soufre ; au-dessous de 8 p. 100, on le rejette comme stérile ; au-dessus de 40 p. 10, il est considéré comme soufre natif plus ou moins impur. Une trop forte proportion de gypse est une gêne pour le traitement par fusion. La teneur moyenne de tous les minerais est, d'après M. Mottura, de 24 p. 100 : ce qui, notons-le en passant, est juste le rapport des équivalents du soufre et du carbonate de chaux. De 8 à 16 p. 100, le minerai est pauvre ; de 16 à 24, bon; de 24 à 40, riche ou très riche [1]. A Madore (Lercara), on compte 20 p. 100 ; à Grottacalda

[1] Les épaisseurs sont, dans les différentes mines, les suivantes :

MINE DE MADORE

	(Épaisseur.)
Couche Zagareddada (rubanée)	8m
Argile schisteuse noirâtre	1m,50 à 2m
Couche Percullatella (nids de soufre dans le calcaire).	2m à 2m,5
Argile	2m à 4m
Couche Percullatella grande	4m à 6m
Argile	5m à 6m
Couche Orlando	2m à 6m
Gypse	» »
Total	24m,50 à 34m,50

MINE DE CIMICIA (Racalmuto)

Veine *di Sopra* ou blanche	1m à 4m
Argile grise	1m à 2m
Veine arena rollata (un peu bitumineuse)	1m à 5m
Total	3m à 11m

Caltanissetta, épaisseur moyenne : 4 mètres.
Grottacalda, 12 mètres en 3 bancs, séparés par des lits de marne de 1 mètre à 1m,50.
Sommatino, 30 à 35 mètres, divisés en 6 bancs de 2 à 8 mètres.
Croce, amas de plus de 35 mètres sans stérile intercalé.

25 à 27; à Sommatino 18 à 26; à Cimicia (Racalmuto), 21 p. 100, etc.

Le terrain solfifère contient d'ailleurs en abondance des pétroles, bitumes, asphaltes et gaz carburés; les explosions de grisou sont même un des dangers de l'exploitation. Dans certaines mines comme Giona, le bitume coule partout dans les galeries. C'est un point sur lequel nous aurons à revenir en parlant de l'origine du soufre.

Les *recherches* en Sicile ne sont dirigées par aucune idée théorique; on s'est presque toujours contenté de partir des affleurements par des galeries en inclinaison en s'arrêtant au premier accident ou *ammuratura*. Quand le soufre n'affleure pas, on n'a aucun indice : le *briscale*, calcaire carié et corrodé que les Siciliens considèrent comme un signe du minerai, n'est que le minerai lui-même dont le soufre a été enlevé par l'action oxydante des eaux au voisinage des affleurements; les sources sulfureuses n'annoncent pas toujours le soufre, mais souvent des gypses traversés par des émanations carburées; le calcaire seul peut renseigner, car il constitue le gisement au même titre que le soufre et l'on passe de l'un à l'autre par transitions insensibles.

Nous compléterons ces données générales par la description plus spéciale de quelques solfares :

Solfare Giordano. — L'emplacement de la solfare *Giordano* au voisinage de Caltanisetta est figuré sur la coupe donnée plus haut (fig. 39). On y exploite une couche unique inclinée à 35°, dont l'épaisseur varie de 1 à 4 mètres. Au-dessus, dans les gypses, se trouvent des amas qu'on néglige. Cette couche qui se prolonge sur plusieurs kilomètres alimente un grand nombre de solfares. Celle de Giordano compte 5 à 600 mètres de longueur en direction. Elle a un puits de 160 mètres de profondeur et passe pour l'une des plus perfectionnées comme installation. Sa production est d'environ 15 000 tonnes de soufre par an.

Solfare Muglia. — La solfare de *Muglia* est située presque au pied de l'Etna sur un petit bassin circulaire isolé de 1 500 à 2 000 mètres de diamètre. On y exploite séparément cinq couches régulières d'une puissance totale de 20 mètres, qui fournissent 13 000

tonnes de soufre par an et occupent 860 ouvriers. Le minerai est une imprégnation dans un calcaire gris coupé de veines d'argile noire luisante (tufo).

Les deux figures suivantes montrent la disposition du gîte :

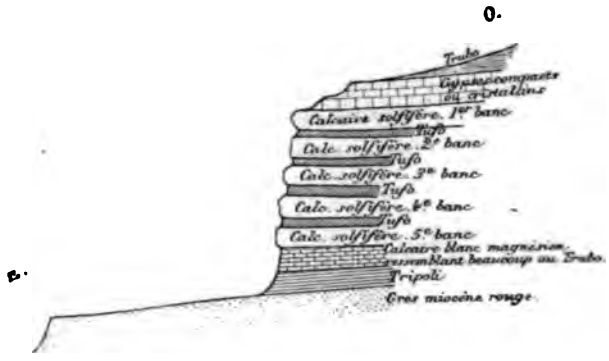


Fig. 40. — Coupe prise à l'Est du bassin de Muglia.

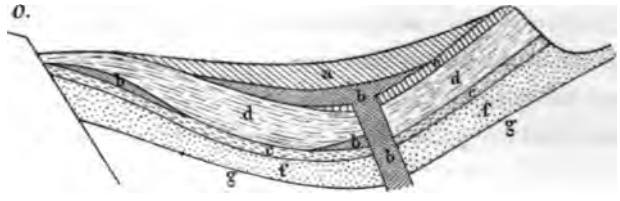


Fig. 41. — Coupe E.-O. du bassin de Muglia.

a. Trubi. — *b*. Argiles noires schisteuses (tufi). — *c*. Gypses. — *d*. Calcaires solfifères et tufi. *e*. Tripoli. — *f*. Grès inférieurs. — *g*. Marnes miocènes.

Solfare Virdilio. — *Virdilio*, près Licata, est la seule solfare où la méthode d'exploitation soit vraiment rationnelle. Le gisement y est formé d'une grande lentille allongée de 800 mètres de long, 30 à 70 mètres de large, 15 mètres de puissance, inclinée à 25 ou 30° vers le Sud[1]. On y obtient du soufre très pur; la production est de 17 à 18 000 tonnes par an.

Solfare Giona. — *Giona* est la solfare la plus importante du district de Racalmuto (près Girgenti). Sa production est de 10 000 tonnes par an. Le gisement se compose d'une couche de calcaire compact à veines de soufre de 2 à 4 mètres de puissance,

[1] Voir plus loin, figure 42.

presque verticale et disloquée par des failles. La longueur de l'affleurement est de 1 000 mètres. Un peu plus à l'Ouest, c'est-à-

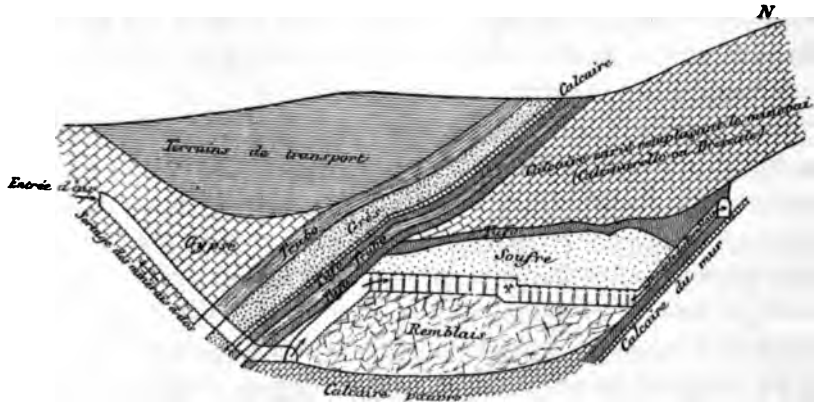


Fig. 42. — Coupe N.-S. de la solfare Virdilio.

dire au toit, on exploite un magnifiqne amas de soufre pur en grands cristaux dans le gypse.

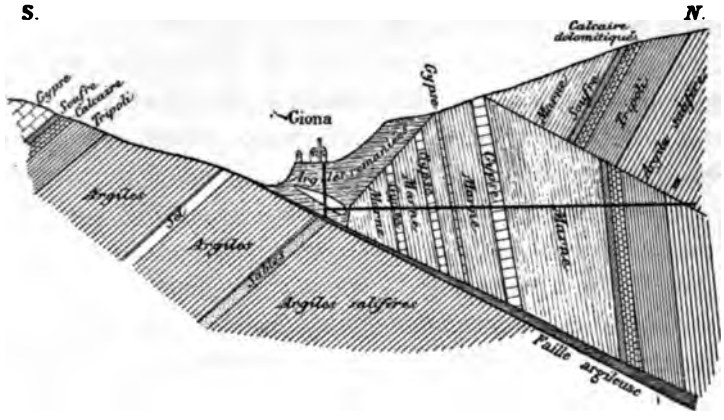


Fig. 43. — Coupe N.-S. de la solfare Giona.

Cette mine est célèbre par les beaux cristaux de soufre, de célestine, calcite et aragonite qu'on y trouve ; c'est le seul gisement connu de mélanophlogite. On doit noter en outre que le bitume y est assez abondant pour couler dans les galeries.

Origine des gîtes de soufre de Sicile. — L'origine sédimentaire du soufre de Sicile paraît hors de doute; son existence dans un

niveau absolument constant, alors qu'il n'y en a pas trace dans les autres couches de la région, l'existence de quelques fossiles (rares, il est vrai), l'étendue des gisements en sont des preuves. On peut ajouter que le soufre n'est qu'un accident au milieu de la formation des gypses.

M. Travaglia, ayant remarqué l'absence de tout dépôt de sables, ou terrains de transport, à l'exception de quelques argiles bitumineuses (tufi) dans le terrain solfifère et gypseux, en a conclu en outre qu'à l'époque où ce gypse s'était déposé, les précipitations atmosphériques devaient être très rares, le climat très sec : ce qui avait pu amener une évaporation d'eau salée ; il a retrouvé de même la trace de ce phénomène dans une couche mince d'oxyde de fer mélangé de calcaire à la base du gypse, couche analogue à celle qui se forme d'abord dans une eau de mer en train de se concentrer.

Dès lors, on peut admettre que ce gypse, aussi bien que le sel mélangé à des argiles qu'on rencontre à un niveau inférieur, est le résultat de la concentration de grandes lagunes marines, isolées peut-être par un premier mouvement de plissement. Quant au soufre, il proviendrait très simplement de la réduction locale du sulfate de chaux par des hydrocarbures : réduction qui donne d'abord du sulfure de calcium ; puis, au contact de l'air, un premier précipité de carbonate de chaux avec de l'hydrogène sulfuré formant aussitôt un polysulfure, le polysulfure à son tour produisant un précipité de soufre et de carbonate de chaux : en sorte que finalement on doit avoir un nélange de soufre et carbonate de chaux contenant 24 p. 100 de soufre au maximum. C'est en effet, comme nous l'avons dit, la teneur moyenne de tous les minerais de soufre siciliens. Si cette teneur dépasse par endroits ce chiffre, c'est qu'il se sera produit, dans l'intervalle des diverses précipitations, des mouvements de l'eau de mer ayant accumulé les polysulfures sur un point, le carbonate sur un autre.

La présence des hydrocarbures invoqués dans cette hypothèse est suffisamment prouvée par les bitumes et gaz carburés rencontrés un peu partout avec le soufre ; on a pu même parfois découvrir en quelque sorte la fente par laquelle étaient arrivés les hydrocarbures. Ainsi, à San Giovanello (près Castel Termini), on a

commencé par suivre à 120 mètres de profondeur une fente irrégulière tapissée de cristaux de soufre au milieu du gypse et cette fente a conduit à un gros amas de soufre riche de 30 mètres d'épaisseur, 60 mètres de largeur, 17 mètres de hauteur dont elle occupait le centre. Un fait analogue s'est reproduit à Giona (Racalmuto).

Reste seulement à expliquer l'origine des hydrocarbures. Pour MM. Mottura et Baldacci, ce sont les produits de maccalubes ou volcans de boue, analogues à ceux qu'on voit encore près de Girgenti et de Caltanisetta ; pour M. Travaglia, de simples concentrations de matières organiques (il y a quelques poissons dans le miocène moyen et des restes organisés dans le tripoli).

Suivant ce dernier, le dépôt de matières organiques au fond du bassin serait antérieur à la précipitation du gypse et aurait commencé par le réduire d'une façon régulière : d'où les couches continues de la base ; puis ce dépôt organique étant recouvert par les premiers précipités, le gypse se serait stratifié à son tour et n'aurait plus été décomposé que localement par des hydrocarbures montant du fond suivant quelques fissures.

Exploitation. — L'exploitation des mines siciliennes est encore très rudimentaire ; elle se fait surtout par galeries étroites suivant la couche à partir de son affleurement et par excavations à piliers abandonnés. Les accidents sont extraordinairement fréquents. La production journalière d'un piqueur est en moyenne de $1^{m3},15$ pesant 1 400 kilogrammes ou $6^{m3},75$ de roche en place.

Son salaire est d'environ 2 fr. 50 par jour. Le prix de l'abatage revient donc à 2 fr. 17 par m^3 de minerai ou 3 fr. 33 par m^3 de vide ou 1 fr. 78 par tonne.

Sauf dans de grandes mines où on emploie des wagons, le transport souterrain se fait à dos. Chaque piqueur ou *picconière* engage le nombre de *carruzzi* nécessaire pour transporter au jour le minerai qu'il peut abattre. Il faut, en moyenne, par *picconière* produisant $1^{m3},15$ ou 1 400 kilogrammes par jour :

A une profondeur de	30 à 40 mètres	1/2 à 2 caruzzi
—	40 à 60 —	2 à 3 —
—	60 à 80 —	3 à 4 —
—	80 à 100 —	4 à 5 —

Prix de revient du soufre en Sicile.

OBSERVATIONS	MINE DE MADORE Quatre couches de 2 à 8m à 45°. Profondeur moyenne 45m. Puits vertical et machine. Produit, 14.000m³ rendant, 19.700 t. de soufre par an. Journée du piqueur, 2 fr. 50.		MINE DE CIMICIA Deux couches à 75°. Puissance, 4m. Profondeur, 35m. Production annuelle, 5.100m³ ou 900 tonnes de soufre.		MINE DE GROTTA-CALDA Couche à 30°. 12m de puissance en 3 bancs. Puits à 140m avec machine. Société française importante.		PRIX de REVIENT MOYEN en SICILE par tonne.
	PRIX DE REVIENT		PRIX DE REVIENT		PRIX DE REVIENT		
	Par m³ cube.	Par tonne.	Par m³.	Par tonne.	Par m³.	Par tonne.	
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Abatage	1,92	1,57	2,00	1,64	2,16	1,76	1,70
Transport et extraction (prix moyen)	1,70	1,50	1,70	1,50	2,70	2,40	1,50
Éclairage et entretien des outils	0,45	0,37	0,37	0,30	0,45	0,37	0,40
Mise en tas	0,30	0,25	0,30	0,25	0,25	0,20	0,20
Entretien des travaux, fournitures	0,51	0,42	0,25	0,20	0,75	2,61	0,60
Épuisement	0,30	0,24	0,20	0,16	»	»	0,20
Surveillance, frais généraux	1,10	0,90	0,50	0,42	1,50	1,21	0,28
TOTAL	6,28	5,25	5,32	4,47	7,81	8,55	4,88

Les procédés d'épuisement sont : les bouteilles et rarement de petites pompes en bois. Quelques rares mines ont des machines d'épuisement ; les quantités d'eau sont presque toujours faibles d'ailleurs, par cette raison simple que, lorsque la venue d'eau est trop forte, on arrête complètement la mine.

Le prix de revient est, en résumé, représenté par le tableau ci-joint (p. 276).

En ajoutant les dépenses d'administration et l'intérêt du fond de roulement, l'impôt de 3 francs par tonne de soufre et l'amortissement, on estime que le prix de revient moyen en Sicile est aujourd'hui de 5 fr. 50 par tonne de minerai.

Traitement du minerai. — Le soufre devient liquide au delà de 115°, puis pâteux à 160°, pour ne reprendre une semi-fluidité qu'à 400° ; pour que la séparation du soufre d'avec sa gangue soit complète, il faut donc que la température reste comprise entre les limites peu étendues de 115° et 160°. La cherté du charbon en Sicile a conduit à employer comme combustible le minerai lui-même dans des tas dits *calcaroni*. Depuis 1871, on substitue à ce système un traitement plus perfectionné, soit au haut fourneau continu, ou au four Ruiz Gil, au moyen de la vapeur d'eau maintenue à une pression de 4 à 5 atmosphères, de telle sorte que sa température ne peut par suite dépasser 150°. Quant à la dissolution par le sulfure de carbone, on ne peut l'adopter à cause du prix de ce produit et des dangers de sa manipulation. Pour les détails de ces divers traitements, nous renvoyons à un important Mémoire de M. Ledoux[1].

Les frais de fusion au calcarone sont les suivants par quintal :

	A MADORE	A RACALMUTO	A GROTTA-CALDA
	Rend. 12 0/0	Rend. 14,6 0/0	Rend. 17 0/0
	fr.	fr.	fr.
Chargement et déchargement des calcaroni	0,57	0,32	0,27
Frais de fusion (main-d'œuvre et fournitures)	0,18	0,15	0,15
Frais généraux.	0,13	0,08	0,06
	0,88	0,55	0,48

[1] Ann. des M., 7e, t. VII, p. 1.

Le prix moyen admis est de 0 fr. 45 (4 fr. 50 la tonne).

Le prix du quintal de soufre sur les mines est donc :

	I PRIX MOYEN en SICILE	II PRIX MOYEN à MADORE	III PRIX MOYEN à CIMICIA	IV PRIX MOYEN à GROTTA-CALDA
	700 kilos de minerai donnant 52 0/0 à 6 fr.	833 kilos de minerai donnant 12 0/0 à 5 fr.	685 kilos de minerais donnant 12 0/0 à 5 fr.	588 kilos de minerai donnant 55 0/0 à 7 fr.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Prix du minerai de soufre à la mine.	4,57	4,97	3,51	4,48
Fusion	0,53	0,88	0,55	0,48
Redevance au propriétaire .	1,50	1,41	2,40	»
	6,60	7,26	6,46	4,76

Le prix moyen de la tonne de soufre au calcarone est actuellement, sur le carreau de la mine, de 48 fr. 50.

A Madore, on donne aux propriétaires 15 kilogrammes de soufre, valant 10 fr. 10 les 100 kilogrammes sur la mine, et, à Cimicia, 30 kilogrammes valant 8 francs sur la mine.

On peut estimer que, par la mauvaise méthode d'exploitation en usage, on ne retire pas plus des deux cinquièmes du minerai qui existe dans les gîtes ; la perte au calcarone est, de plus, en moyenne de 35 p. 100 du soufre contenu ; on ne produit donc que 26 p. 100 ou environ un quart du soufre renfermé dans les gîtes.

Le calcarone a, en outre, l'inconvénient de verser sur les cultures des torrents d'acide sulfureux. Enfin il ne peut traiter des minerais tenant moins de 15 p. 100 de soufre, la perte étant alors telle que les dépenses ne sont pas couvertes par le produit.

La fusion à la vapeur est, par suite, beaucoup plus avantageuse que la fusion au calcarone, surtout pour le traitement des minerais riches ; elle permet, de plus, de fondre les minerais au fur et à mesure de leur extraction ; elle supprime les dégagements d'acide sulfureux et est indépendante des circonstances atmosphériques, etc. Ce qui a retardé son développement est, en partie, le prix élevé de la redevance du brevet.

Avec le traitement à la vapeur, le prix de revient à Lercara était, en 1871, le suivant :

	PAR TONNE DE MINERAI	PAR 1.000 KILOS DE SOUFRE
	fr.	fr.
Main-d'œuvre. Machinistes, chauffeurs, chargement et déchargement . .	0,21	1,00
Main-d'œuvre. Coulée.	1,00	5,00
Charbon : 24k,3 à 58 fr. les 1.000 kilos	1,41	7,00
Eau d'alimentation : 0m3,191 à 5 fr. le mètre cube	0,85	4,20
Entretien.	0,35	1,70
Surveillance, direction.	0,23	1,10
Amortissement ($\frac{1}{5}$ 12.000 fr. par appareil et par an)	0,44	2,10
	4,49	22,10

Transport, embarquement et commerce du soufre. — A. *Transport.* — Presque toutes les mines, étant placées loin d'une route carrossable, sont obligées d'employer des bêtes de somme. Ce sont des mulets qui portent de 100 à 120 kilogrammes de soufre. Ce transport coûte 0 fr. 80 la tonne kilométrique.

Le transport par charrettes coûte 0 fr. 45 la tonne kilométrique. Le soufre est pesé au départ et à l'arrivée, le déchet de route admis est de 1 à 2 p. 100.

B. *Embarquement.* — Dans tous les ports d'embarquement, des négociants achètent le soufre aux petits exploitants. Les dépenses d'embarquement comprennent le transport à la plage, le chargement des barques et leur manœuvre jusqu'au navire et sont données à forfait.

On calcule que la tonne de soufre, à 48,50 sur le carreau de la mine, revient, rendue à bord, à 61,90.

C. *Classification des soufres.* — On distinguait autrefois dans le commerce sept qualités de soufre de Sicile, selon le degré de pureté, estimé d'après la couleur et l'aspect des pains, et non d'après des essais. Voici, à titre de document, leur énumération avec les prix de vente par quintal à Licata au 21 février 1875 ; comme

nous le verrons, les prix ont baissé de moitié depuis ce moment:

		Prix de 1875. francs.
1re *qualité*.	Soufre chimiquement pur (à peu près inconnu en réalité) [1].	16,71
2e	— dite Vantaggiata.	16,46
3e	— dite Buona, tient 4 à 5 p. 100 de matières terreuses, mais est encore d'un beau jaune.	16,32
4e	— dite Corrente, jaune sale, moins homogène	16,06
5e	— dite Vantaggiata, jaune brun, bitumineuse	14,58
6e	— dite Buona; brun clair. . . . . 14,18 à	14,32
7e	— dite Corrente; brune, grossière, peu homogène	

En 1888, on comptait les prix suivants par quintal :

Soufre en fleurs.	12,19
Raffiné en canons	11,17
Raffiné moulu.	10,15
Raffiné en pain	8,45
Soufre brut moulu 1re qualité	8,66
— 2e qualité.	8,39
Soufre brut en pains. . . . . 7,16 à	6,47

Statistique. — La *Sicile* a produit :

En 1883, 357,975 tonnes valant 95 francs la tonne sur place ;
En 1884, 338,214 tonnes valant 89 francs la tonne sur place.

Il restait, fin 1884, un stock de 137 384 tonnes. La population ouvrière était alors de 28 847 ouvriers; la teneur industrielle moyenne des minerais de 15,47 p. 100 en soufre; le prix de revient moyen sur place, impôts de tous genres non compris, variait de 47 fr. 10 à 67 fr. 10 la tonne.

Depuis 1886, on a :

PROVINCES	1886		1887		1888	
	Tonnes	Valeur en francs	Tonnes	Valeur en francs	Tonnes	Valeur en francs
Caltanisetta. .	177.497	13.525.271	142.297	9.889.641	148.060	9.890.408
Catane. . . .	28.483	2.170.405	32.552	2.262.364	32.513	2.171.868
Girgenti . . .	102.007	7.772.933	104.410	7.256.495	122.414	8.177.257
Palerme . . .	18.620	1.418.844	21.498	1.494.110	19.055	1.272.874
Total. . .	326.607	24.887.453	300.757	20.902.610	322.042	21.512.405

En 1886, la valeur moyenne du soufre rendu aux ports d'embarquement était de 76,20 ; en 1887, 69,50 ; en 1888, 66,80. (En 1874, le prix moyen était de 140 à 150 francs.)

M. Mottura a essayé d'évaluer ce qui peut rester de soufre en Sicile. Suivant lui, on aurait extrait, jusqu'en 1830, 2 millions de tonnes ; de 1830 à 1888, 10 675 000 tonnes auxquelles il faut ajouter 5 000 000 tonnes perdues dans le traitement, et il en resterait 49 millions, dont beaucoup, enfouies dans de mauvaises exploitations, ne pourront pas être reprises.

Bibliographie du soufre en Sicile.

1839. DE SERRES. — Du soufre et de son origine. (*Ann. Soc. linn. de Bordeaux*, t. IX, p. 17. Bordeaux, 1839.)

1846. DE CUSSY. — Sur les mines de soufre en Sicile. (*B. S. G.*, 2e, t. IV, p. 82.)

1853. VILANOVA. — Sur l'âge tertiaire du gisement de soufre de la Sicile, (*B. S. G.*, 2e, t. XI, p. 82.)

1861. LA BRETOGNE et DE RECHTER. — Industrie solfifère en Sicile (Palerme).

1867. Mines de soufre de la province de *Caltanisetta* (Sicile). (*Bull. Ann. des M.*, t. XVII, p. 57.)

1868. PARODI. — Industria zolfifera in Sicilia.

1870. MOTTURA. — Sulla formazione solfifera della Sicilia (Torino).

1871. MOTTURA. — Sulla formazione terziara nella zona solfifera della Sicilia (Firenze, 1871).

1873. PARODI. — Sull'estrazione dello zolfo in Sicilia. (*Relazione al ministro d'agricultura*, etc.)

1874. Jules PIRCKEY. — Appareils pour la fusion du soufre par la vapeur d'eau. (*Bull. Ind. min.*, 2e série, t. II.)

* 1875. Ch. LEDOUX. — Mémoire sur les mines de soufre de Sicile. (*Ann. des M.*, 7e, t. VII, p. 1.)

1875. G. BRUZZO. — Les mines de soufre de Lercara en Sicile. (*Cuyper*, t. XXXVIII, p. 567.)

1879. VON LASAULX. — Schwefel districten in Sicilien. (*N. J. Min.*)

* 1881. MOTTURA. — Formation solfifère de la Sicile. (*Ind. Min.*, 2e, t. X, p. 147.)

1881. DAUBRÉE. — Nouvelle rencontre du soufre natif dans le sol de Paris. (Paris, *C. R.* t. XCII, n° 25, 20 juin 1881, p. 1440.)

1887. Riccardo TRAVAGLIA. — La crisi solfifera in Italia.

1888. La crise du soufre en Sicile. (*Cuyper*, t. I, p. 303.)

* 1890. FRIEDEL. — Journal de voyage inédit à l'Ecole des Mines (n° 894).

GISEMENTS DE SOUFRE D'ITALIE

Quelques mots seulement sur les autres gisements de soufre du continent italien.

En dehors de la Sicile, les principaux centres de production du soufre en Italie sont la Romagne (25 000 tonnes de soufre raffiné valant 110 francs sur place), la province de Rome et la province de Naples (à peu près autant : en 1883, 27 030 tonnes ; en 1884, 25 700 tonnes). Dans les deux derniers gîtes, le soufre est le produit de phénomènes volcaniques ; celui de Romagne au contraire est comparable à la Sicile.

En *Romagne*, sur le versant de l'Apennin, des compagnies anglaises exploitent des mines près de *Césena* (entre Ravenne et Rimini, côte de l'Adriatique). Le gisement est, comme en Sicile, formé de lentilles de soufre interstratifiées dans des marnes tertiaires contenant une forte proportion de sulfate et de carbonate de chaux. Le banc principal a de 1 à 3 mètres d'épaisseur. La proportion de soufre dans le minerai est de 22 p. 100 ; mais il a l'inconvénient d'être un peu bitumineux.

Une exploitation rationnelle par piliers et galeries avec extraction par puits guidés et cages a été établie, non sans peine et non sans opposition de la part des habitants du pays. Le traitement se fait dans des cuves assez analogues à des fours à chaux passant à peu près 350 tonnes par charge. La combustion d'une partie du soufre procure la chaleur nécessaire à la fusion du soufre qu'on recueille en bas dans des bassins. La perte est estimée à 35 p. 100.

La dépense totale est évaluée à 75 francs par tonne de soufre. Le prix de vente est de 130 francs.

Bibliographie.

1848. Coquand. — Sur les solfatares de la Toscane. (*B. S. G.*, 2e, t. IV, p. 91.)

1866. Perazzi. — Schwefel gewinnung in Italien. (*B. u. H. Z.*, 1866, p. 92.)

1873. Pirckey. — Procédé d'extraction du soufre en Italie. (*Ind. min.*, 2e, t. II, p. 609 et 825.)

1880. S. DE BONIASKI. — La formazione gessoso solfifera e il secundo piano mediterraneo in *Italia*. (*Processi verbali della Società toscana di scienze naturali*, séance du 14 novembre 1880. Pise, 1880.)

* 1888. DAVIES, p. 240.

SOUFRE DE LA PROVINCE DE LORCA (ESPAGNE)

Ce gîte est situé dans le voisinage du piton trachytique qui forme la pointe Sud-Est de l'Espagne, dans la province de Murcie. Il se compose de soufre natif intercalé au milieu de marnes du miocène supérieur. Les exploitations sont à 4 kilomètres de Lorca, village situé lui-même à 35 kilomètres du port d'Aguilas.

Les couches tertiaires sont redressées contre le piton trachytique avec un plongement vers le Nord-Ouest. Les marnes où se trouve le soufre ont une puissance régulière de 4 à 5 mètres. Le soufre forme parfois des noyaux assez considérables. La teneur du minerai atteint 30 à 40 p. 100 de soufre.

Une particularité de ce minerai, concordante avec ce que nous avons vu en Sicile et en Romagne, est la présence constante d'un peu d'hydrocarbures.

Le soufre obtenu par distillation contient :

Soufre	98,82
Bitume	0,20
Cendres	0,88

L'exploitation n'a pas toute l'activité qu'elle pourrait avoir ; elle occupe pourtant 5 à 600 ouvriers. La production journalière a été autrefois de 100 tonnes de minerai brut, donnant par mois 1 000 tonnes de soufre distillé. Elle a beaucoup diminué depuis vingt ans. Le soufre est entièrement consommé par les industries locales.

Il existe en outre quelques autres mines de soufre en Espagne, dans les provinces de Téruel et Cadix. Le tableau suivant résume leur production :

	1861	1869
Murcie (Lorca)	23 138 tonnes.	9 046 tonnes.
Téruel	10 —	2 534 —
Cadix	0 —	920 —

SOUFRE DE GRÈCE

En Grèce, on trouve des gisements de soufre à 4 kilomètres à l'Est de l'isthme de Corinthe au milieu de marnes gypseuses surmontées par du calcaire miocène, c'est-à-dire à peu près au même niveau qu'en Sicile.

Le calcaire s'élève à 700 mètres sur le rivage Nord du golfe d'Egine et est assez fortement disloqué. C'est à environ 80 mètres d'altitude qu'on rencontre le soufre. Il existe là des dégagements actuels de vapeurs sulfureuses et des excavations tapissées de cristaux de soufre, où la température atteint 100 degrés. Le soufre se trouve, en outre, en rognons dans les marnes gypseuses. Ces exploitations sur lesquelles nous n'avons pas de détails paraissent donner une production de quelque importance.

On exploite également des marnes solfifères à Milo et à Kalamaki.

Bibliographie.

1876. Th. Fuchs. — Die solfatara und das Schwefel vorkommen von *Kalamaki* (Grèce). (*Verhandlungen der KK. geol. Reichsanstalt*, 1876, p. 54. Vienne, 1876 ; cf. *N. J. Min.*, 1879, p. 857. Stuttgart, 1879.)

1877. Petitbon. — Note sur la formation du soufre à *Calamaki* (Grèce) (Liège).

SOUFRE DE RUSSIE

La formation des marnes tertiaires solfifères, que nous venons d'étudier en Sicile et en Grèce, se retrouve à *Tcharkow* (ou Czarkowo, Pologne). La puissance de la couche qui contient des grains de soufre natif varie entre 2 et 20 mètres ; la distribution du soufre dans la couche est aussi très variable. Les étages supérieurs renferment ordinairement 10 p. 100 de soufre, tandis que, plus bas, on en trouve de 25 à 70 p. 100. En 1876, on estimait à 64 000 tonnes la quantité de soufre connue dans ce gisement. L'exploitation y est assez active.

Sur les bords du Volga, on rencontre, en plusieurs points, des marnes solfifères appartenant au contraire à l'étage du zechstein.

C'est ainsi que, près du village de *Sukéevo* (gouvernement de Kazan), le soufre forme des veines de près de 10 centimètres dans un calcaire.

On exploite également du soufre (accompagné de gypse et de célestine) à l'angle Nord-Ouest de la Samarskaïa Louka, vis-à-vis du village de *Tzarevtschina*.

On peut mentionner enfin, pour leur intérêt géologique, des sources sulfureuses assez abondantes qui sortent de calcaires et de marnes permiennes aux bains impériaux de *Sergiefsh* sur la rivière Sok (un affluent du Volga). Le terrain contient du bitume et du gypse. Les sources, recueillies dans un assez vaste étang, y déposent un peu de soufre.

Bibliographie.

1878. Aperçu des richesses minérales de la Russie.
1888. Davies, p. 34 et 71.

SOUFRE DE FRANCE

En France, on exploite, depuis quelques années, dans le département de *Vaucluse*, une petite mine de soufre. Cette mine a produit, en 1888, 3 100 tonnes; en 1890, 3 604 tonnes de marnes tertiaires imprégnées de soufre, exportées en Algérie pour le traitement des vignes. En 1884, on avait atteint 6 400 tonnes valant 98 000 francs[1].

Tout récemment (1890), on a demandé une concession de soufre dans le bassin de *Manosque*. Ce soufre semble produit par réaction secondaire du lignite sur des eaux gypseuses.

1881	3 250 tonnes.		65 000 fr.
1883	1 300 —		25 000 fr.
1884	6 400 —		98 000 fr.
1884	4 776 —	à 20 fr.	95 514 fr.
1888	3 065 —	à 16 fr. 50	50 573 fr.
1889	3 801 —	à 16 fr. 50	62 717 fr.
1890	3 604 —	à 15 fr.	54 060 fr.

Bibliographie générale du soufre.

1847. — Sainte-Claire Deville. — Sur le gisement de soufre à la soufrière de la Guadeloupe (*B. S. G.*, 2e, t. IV, p. 428.)

1850. Zeuschner. — Dépôt de soufre à Szwoszowice près Cracovie. (*B. S. G.*, 2e, t. VII, p. 715.)

1852. Delaporte. — Sur les mines de soufre de la haute Égypte. (*Ann. des M.*, 5e, t. I, p. 199.)

* 1874. Brunfaut. — De l'exploitation des soufres. (Gr. in-8° de 620 pages, chez Amb. Lefèvre. Paris.)

1879. Gascogne. — Les dépôts de soufre d'Islande. (*Engin.*, t. XXVIII, p. 89.)

Soufre des Tapets près Apt (Vaucluse). (Revue de géol. *Ann. des M.*, 7e, t. XVII, p. 289.)

2me CATÉGORIE DE GISEMENTS DE SOUFRE

PYRITES DE FER

La pyrite de fer est un des plus abondants parmi les produits filoniens hydrothermaux et il n'est guère de gîte métallifère qui n'en renferme plus ou moins. C'est d'ailleurs une substance facile à remettre en mouvement par réaction chimique; car son oxydation donne un sulfate soluble que les matières organiques réduisent ensuite aisément; aussi la retrouve-t-on dans un grand nombre de terrains sédimentaires : concentrée, soit sur les matières végétales, comme la houille qui en contient fréquemment, soit sur les fossiles de toute nature, presque tous pyritisés dans certaines couches.

Si l'on se borne aux masses de pyrite suffisamment importantes pour être exploitables et si on essaye de les classer par âge géologique, on en retrouve chaque fois qu'un grand mouvement de plissement a produit une pénétration abondante des eaux de la surface dans les couches profondes du globe et les a mises en contact avec les vapeurs dégagées des laccolithes internes, c'est-à-dire, pour l'Europe, aux trois grandes époques caractérisées par les chaînes calédonienne, hercynienne et alpestre.

A la première dislocation calédonienne, de l'époque du silurien supérieur, ayant affecté surtout l'Islande, l'Ecosse et la Norvège, on peut rattacher, à notre avis (avec les venues feldspathisantes qui semblent avoir produit le métamorphisme des gneiss), les très abondantes imprégnations pyriteuses interstratifiées dans la zone des leptynites en Suède, en Norvège et aux Etats-Unis. Nous dirons, en étudiant les gîtes norvégiens, comment la façon dont les imprégnations suivent le détail infini des plissements schisteux sans aucune brisure, nous paraît prouver la postériorité de cette imprégnation au plissement et la consolidation des schistes froissés et disloqués par des sulfures ayant cristallisé dans tous les vides. D'autre part, cette pyritisation est très ancienne puisqu'elle a été recoupée en divers points par la granulite éruptive. En Norvège, cette zone pyriteuse présente, au point de vue de l'exploitation des divers métaux, cuivre, zinc, cobalt, etc., une importance très grande. Dans l'Europe centrale, où les mouvements de la chaîne calédonienne ont été beaucoup plus restreints, on ne trouve à ce niveau que peu de gisements.

Tout au contraire, les fractures qui ont suivi la formation de la chaîne hercynienne et qui se sont continuées en France jusqu'au trias ont, particulièrement à l'époque permo-triasique, produit en Europe de très abondants épanchements sulfurés, parfois en relation avec des venues porphyriques à silice surabondante.

C'est ainsi qu'on peut rapporter à l'époque permienne les grands amas pyriteux du Sud de l'Espagne et du Portugal (Rio-Tinto, San-Domingos, Morena, etc.); et les dépôts sédimentaires du Mansfeld; à la fin du trias et jusqu'à l'infralias la majeure partie des gisements français.

Quant aux venues de la période alpestre, on peut en citer des exemples en Italie.

Au point de vue industriel, les gisements pyriteux dont nous venons de parler se présentent souvent à l'état de mélanges complexes de sulfures de divers métaux et présentent par suite une composition assez variable, qui fait qu'on les exploite, tantôt pour un métal principalement, tantôt pour un autre. D'une manière générale, on peut dire qu'on y trouve, en outre de la pyrite de fer prédominante, de la pyrite magnétique, du mispickel, des sulfures

de cuivre, zinc (rarement plomb), cobalt, nickel, etc., et souvent des traces d'argent et d'or.

Dès que la proportion de cuivre atteint 2, 5 à 3 p. 100, la pyrite devient un minerai de cuivre : ainsi à Rio-Tinto (Espagne), Röros (Norvège), Falun (Suède), au Rammelsberg (Hartz), à Agordo (Vénétie), etc., et le soufre n'est plus qu'un produit très accessoire que souvent même on laisse perdre en fumée. Dans d'autres cas, les minerais de nickel et de cobalt deviendront l'élément principal ; ou encore la blende, comme à Ammeberg (Suède), exclura à peu près tout autre sulfure.

Il en résulte, pour la description, la nécessité de disperser dans diverses parties de ce volume la description des gîtes sulfurés en relation d'origine les uns avec les autres et de renvoyer au cuivre, au cobalt ou au zinc la description des mines exploitées principalement ou même uniquement pour ces métaux. Nous serons même conduit, afin de ne pas rompre l'unité géologique d'une région, à renvoyer au chapitre du cuivre certaines mines exploitées uniquement pour pyrite de fer (soufre) au milieu d'autres mines de pyrite cuivreuse, par exemple à Röros (Norvège), ou en divers points du Sud de l'Espagne et nous nous bornerons, en ce moment, à un district exclusivement exploité pour la fabrication de l'acide sulfurique, d'ailleurs très important pour l'industrie française, qu'il approvisionne presque tout entière, celui des pyrites du Rhône et du Gard (environ 210 000 tonnes en 1888).

Mais auparavant résumons les conditions auxquelles doivent satisfaire des pyrites pour être exploitables.

Il ne suffit pas qu'elles aient une teneur en soufre assez élevée, il faut encore qu'elles ne renferment pas une proportion trop considérable de certains corps étrangers. Ces corps exercent une grande influence, soit sur la qualité de l'acide produit, soit sur la valeur, comme minerai de fer, des pyrites grillées.

L'arsenic, en trop grande quantité, est nuisible. Brûlé avec le soufre, il se volatilise en acide arsénieux et se dissout dans l'acide sulfurique produit pour se disséminer dans tous les produits fabriqués avec cet acide.

Si les gangues des pyrites sont calcaires, le carbonate de chaux se décompose sous l'influence de l'acide sulfureux et de l'acide

sulfurique produits et se transforme en sulfate de chaux : ce qui donne une perte en soufre et rend la pyrite impropre aux usages métallurgiques ; en outre, l'acide carbonique produit occupe inutilement une partie de la capacité des chambres de plomb.

S'il existe de la fluorine, elle donne, sous l'action de l'acide sulfurique, de l'acide fluorhydrique, qui altère considérablement la valeur de l'acide obtenu par son action trop violente sur certains corps.

Bibliographie.

1855. Extraction du soufre des pyrites sulfureuses du gouvernement de Simbrisk. (*Ann. des M.*, 5e, t. X, p. 614.)

1855. Sur l'exploitation des pyrites sulfureuses et de l'ocre du district de Borovitsch (gouvernement de Newgorod). (*Ann. des M.*, 5e, t. X, p. 613.)

1868. Knocke. — Sur la préparation de l'acide sulfurique au moyen des pyrites de fer et de cuivre. (*Cuyper*, t. VII, p. 165.)

1884. Julien. — Structure microscopique des pyrites de fer.

1885. Julien. — Décomposition des pyrites de fer.

PYRITES DE FRANCE (Rhône, Gard, Ardèche)

Les pyrites employées pour la fabrication de l'acide sulfurique à Marseille et dans la plupart des usines françaises proviennent principalement de deux groupes de gisements situés : l'un dans le Rhône (Sain-Bel) ; l'autre, moins important, dans le Gard et l'Ardèche.

En outre, les importations de pyrites en France sont fournies, dans le Nord, par les mines de Theux et Vedrin en Belgique, de Vigsnœs en Norvège, ailleurs, par celles de Santander et Bilbao, de Morena, etc., en Espagne.

Le groupe du Rhône, représenté par la concession de *Sain-Bel*, se trouve sur les deux rives d'un affluent de la Saône appelé la Brevenne. Sa production, qui était, en 1874, de 120 000 tonnes et de 130 000 en 1885, s'est élevée, en 1890, à 208 235 tonnes d'une valeur moyenne de 14 fr. 56 (soit 2 791 449), utilisées dans les

diverses usines de la société de Saint-Gobain. Le nombre des ouvriers est de 340 à l'intérieur, 132 à l'extérieur[1].

Le groupe du Gard et de l'Ardèche comprend des gisements assez nombreux, mais généralement restreints, dont les principaux et seuls exploités aujourd'hui sont situés dans le Gard : 1° à *Saint-Julien-de-Valgalgues*, à quelques kilomètres d'Alais ; 2° au *Soulier*, à 3 kilomètres au Nord d'Alais, dans la commune de Saint-Martin-de-Valgalgues.

Ces mines ont produit : en 1888, 16 735 tonnes de pyrite à 10 francs la tonne en moyenne ; en 1890, 14 982 tonnes à 10 francs et occupé environ 120 ouvriers. Leur production est utilisée dans la grande usine de produits chimiques de Salindres.

Dans l'Ardèche, le gisement principal qu'on ait exploité est celui de *Soyons*, en face de Valence, sur la rive droite du Rhône.

En dehors de cette zone, la France produit peu de pyrites ; nous citerons seulement le département de la Dordogne, qui a fourni, en 1888, 4232 tonnes à 46 p. 100 de soufre, valant 9 francs la tonne. D'autres gîtes non exploités existent : dans l'Ariège, aux Cabanes, près de Vic-Dessos, à Miclos et Olux ; dans les Vosges, à Framont, etc.

Au point de vue géologique, les gisements du Rhône et du Gard se présentent dans des conditions très différentes :

A Chessy, la cassure est nette, le caractère franchement filonien. A Sain-Bel, la fracture est plus complexe, les schistes étant plus tendres et l'imprégnation est plus disséminée. Enfin, aux environs d'Alais dans le Gard, on a souvent une interstratification apparente, mais dans des terrains variables : interstratification expliquée par la substitution de la pyrite à des zones sableuses délayées par les eaux, comme semble le prouver la présence, dans la pyrite, de fossiles qui n'ont pu vivre évidemment dans des eaux chargées de sulfure. Au point de vue du remplissage, la zone du Rhône est beaucoup plus pure ; au Sud, la pyrite contient généralement trop d'arsenic et de fluor.

[1]

1886	159 589	tonnes à	14,88	2 376 114
1888	178 607	—	15,63	2 791 499
1889	181 617	—	14,88	2 702 461

1° GROUPE DU RHONE

GÎTES DE CHESSY ET DE SAIN-BEL[1]

Géologie générale[2]. — La vallée de la Brevenne, dans le département du Rhône, est formée : à l'Ouest, de schistes argilo-siliceux rattachés au cambrien ; à l'Est, de chloritoschistes (micaschistes), orientés Nord 35° Est, parallèlement aux grandes directions de plissements qui se poursuivent vers le Sud, jusqu'à Privas et Valence. C'est dans ces schistes de deux âges distincts que se trouvent les pyrites : le filon de Chessy dans le cambrien, les filons et imprégnations de Sain-Bel dans le micaschiste. La zone pyritifère a une largeur de 6 à 8 kilomètres ; elle est limitée : au Sud-Est, par le chaînon de gneiss d'Izeron et de Saint-Bonnet, et, au Nord-Ouest, par un massif granitique formé des contreforts du Sauvage. Au Sud, elle est étranglée par le rapprochement de deux massifs gneissiques ; au Nord, elle s'épanouit et disparaît sous des grès argileux et des calcaires appartenant au jurassique du Rhône.

L'inclinaison des schistes est partout très forte, presque verticale ; ceux du Sud-Est plongent au Nord-Ouest et ceux du Nord-Ouest au Sud-Est. Leur direction générale est celle de la vallée.

C'est dans cette bande schisteuse qu'apparaissent deux lignes principales de gisements pyriteux : l'une, à gauche de la Brevenne, est connue sous le non de gisement de *Chessy ;* l'autre, à droite, de gisement de *Sain-Bel* ou de *Sourcieux ;* c'est cette dernière seule, et même uniquement la partie Sud de cette dernière, qui fournit aujourd'hui la presque totalité de la production de pyrites françaises, principalement sous forme de schistes imprégnés.

A. — GÎTE DE CHESSY

A l'extrémité Nord de la ligne pyritifère composant ce gisement, est l'ancienne mine de Chessy, qui a été longtemps exploitée

[1] Coll. École des Mines, 1786. — Voir les feuilles de Lyon et de Bourg, par M. Michel Lévy.

[2] Voir une carte géologique, page suivante.

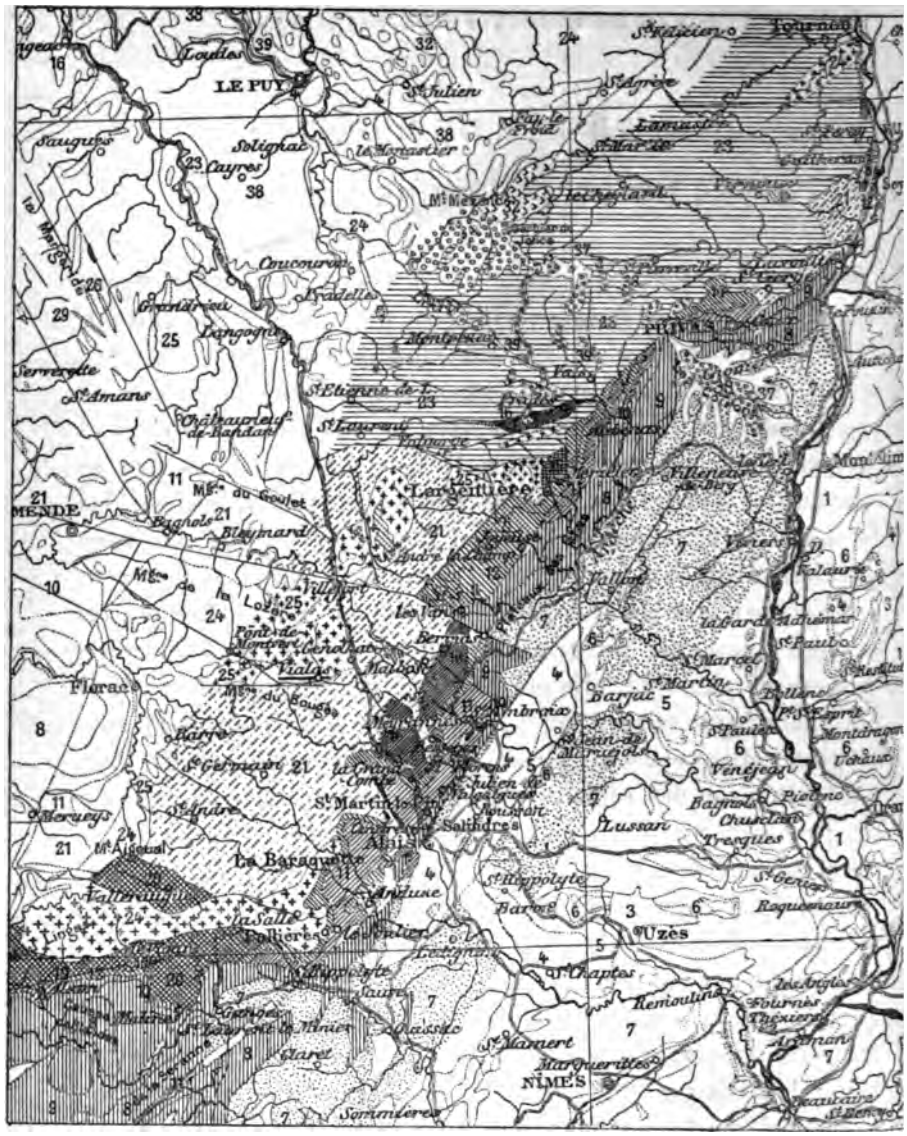


Fig. 11. — Carte géologique au $\frac{1}{1\,000\,000}$ de la zone pyriteuse du Gard et de l'Ardèche.

pour minerai de cuivre. Au-dessous des anciens travaux, on a reconnu des filons de sulfure de fer; en plusieurs points, sur la ligne du gisement, on voit leurs affleurements et on a constaté

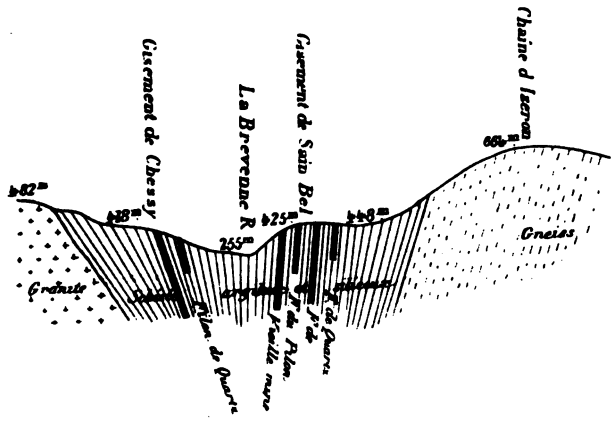


Fig. 45. — Coupe transversale du gîte de Chessy et Sain-Bel.

leur présence par des travaux. Ces filons ont quelques mètres seulement de puissance; la longueur du gisement atteint 10 kilomètres. Aucune exploitation suivie n'existe dans ce gîte.

Voici l'analyse d'un échantillon de pyrite de cette zone :

	Roche.	Poussière.
S	47,34	48,57
Fe	41,72	43,20
Cu	0,05	Traces.
As	0,02	Traces très sensibles.
Gangue insoluble	10,79	4,71
HO	0,08	3,52

B. — GITE DE SAIN-BEL

La deuxième ligne de gisements, d'une longueur de 10 kilomètres également, située sur la rive droite de la Brevenne dans les micaschistes, présente, au point de vue des pyrites, une importance capitale.

Un barrage gneissique, se reliant au chaînon d'Izeron, la partage en son milieu. Dans la partie Nord, la pyrite a été reconnue, mais n'est pas exploitée; dans la partie Sud, une région dirigée Nord 58° Est, est très connue, très exploitée et séparée, par un étran-

giement stérile d'une centaine de mètres, de l'autre région dirigée Nord 30° Est, la plus au Sud, et la moins explorée des deux. L'une et l'autre de ces deux régions donnent lieu à une extraction considérable ; la nature de leur minerai diffère.

a. **Région Nord.** — Dans la région du Nord de la partie exploitée, située au Sud du barrage gneissique vers Sourcieux, le gisement comprend trois groupes de filons :

1° *Groupe de l'Ouest.* — Ce groupe se compose de deux filons dont la puissance totale est de 10 mètres. La partie située au mur du premier filon ne contient pas de cuivre, le reste était le filon donnant lieu autrefois à l'exploitation du cuivre. Au mur de ce groupe, la pyrite est mélangée à d'autres sulfures métalliques, notamment la blende.

2° *Groupe du Centre.* — Moins long que le précédent, il comprend, à 50 mètres du jour, une masse compacte et homogène de pyrite, appelée *masse du Pigeonnier*, dont la puissance moyenne est de 20 mètres ; c'est du sulfure de fer pur, associé à 10 ou 12 p. 100 de matière inerte. La gangue est un mélange de matières siliceuses et de sulfate de baryte. On rencontre souvent, dans la masse, de gros blocs de pyrite agglomérés, pris dans une pâte pyriteuse laissant entre eux des vides mesurant parfois plusieurs décimètres cubes.

3° *Groupe de l'Est.* — Le groupe comprend le *filon Marcet* et le *filon Francisco* formant le toit de la mine. La pureté de la pyrite diminue, et d'autant plus qu'on se rapproche du toit.

b. **Région Sud.** — La constitution est plus simple. On n'y connaît que deux filons de dimensions colossales. Ils sont parallèles entre eux : 1° Le *filon tendre* a une puissance de 25 à 30 mètres, quelquefois 40 mètres. Il affecte la forme d'un cône compact dont la puissance, faible au jour, augmente avec la profondeur. Cette masse exploitée par le *puits Bibost* est reconnue sur 500 mètres de long et 120 mètres de haut. Elle est composée de sulfure de fer chimiquement pur ; la gangue est siliceuse sans matières barytifères. Le seul inconvénient est l'extrême friabilité de la pyrite ; cette pyrite est d'ailleurs peu altérable. Ce filon a fourni longtemps la moitié de la pyrite extraite à Sain-Bel.

2° Le *filon dur* n'a qu'une puissance de 5 mètres en moyenne : puissance qui s'élève parfois à 10 mètres. Il est un peu moins pur et ne se trouve que tout à fait au Sud du gisement.

Le tableau suivant donne les analyses des pyrites du gîte de Sain-Bel :

	RÉGION NORD						RÉGION SUD	
	GROUPE DE L'OUEST			GROUPE DU CENTRE		GROUPE de L'EST	Masse de Bibost	
	Filon au mur cuivreux		Filon non cuivreux	Masse du Pigeonnier		Filon Francisco		
		(1)					(2)	(3)
Soufre	37,89	15,24	46,62	47,1	47,98	40,73	53,09	52,49
Fer	29,92	4,31	39,07	40,5	41,11	35,48	46,46	46,43
Cuivre	4,61	1,09	»	»	»	»	»	»
Arsenic	0,06	0,03	0,05	traces	traces	traces	traces très faibles	traces très faibles
Zinc	6,36	18,40	»	»	»	»	»	»
Gangue insoluble	21,25	60,73	13,92	12,4	10,78	23,71	0,37	0,90
Eau	0,09	0,18	0,17	»	0,20	0,20	0,04	0,04
	100,18	99,98	99,83	100,1	100,07	100,12	99,96	99,86

L'analyse (1) provient du mur de la couche à une profondeur plus grande que le précédent; elle est remarquable par la proportion élevée de zinc que l'échantillon contenait.

L'analyse (2) vient du premier étage (à 58m du jour) du puits Bibost.

L'analyse (3) vient du troisième étage (à 121m du jour) du puits Bibost.

En résumé, les pyrites du Rhône sont caractérisées par leur gangue siliceuse ou barytique, l'absence totale de composés calcaires, leur faible teneur en arsenic, et les dimensions des gîtes dont la profondeur est encore inconnue et dont la masse, reconnue en 1876, était alors évaluée à 12 millions de tonnes.

2° GISEMENTS DU GARD

Les gisements du Gard ont une importance beaucoup moindre que ceux du Rhône; ils suivent une direction générale N. 35° E., à peu près la même que celle des gisements du Rhône, qui est ici la direction de la limite très brusque des roches primitives du plateau central entre Privas et Alais et des grandes failles voisines; ils se rencontrent dans des terrains divers, et, au lieu

de présenter des masses considérables, affectent la forme de filons ou d'amas irréguliers, ou encore de rognons disséminés dans du minerai de fer.

En suivant la petite chaîne de montagnes qui sépare, dans ce département, le terrain houiller du néocomien, on rencontre la pyrite à chaque pas sur une longueur de 30 à 40 kilomètres ; sa présence est, en général, accusée par des affleurements de fer hydroxydé, provenant de la décomposition de la pyrite elle-même sous l'influence de l'air ; à une certaine profondeur, le minerai de fer se trouve mélangé de parties pyriteuses abondantes; enfin, ce fer hydroxydé disparaissant complètement, on arrive à la masse même de pyrites.

Nous décrirons dans le Gard les gîtes de Saint-Julien-de-Valgalgues et du Soulier.

A. — GITE DE SAINT-JULIEN-DE-VALGALGUES

Ce gîte est à 7 kilomètres au Nord-Est d'Alais ; surmontée d'un chapeau de fer hydroxydé, la pyrite s'y rencontre dans

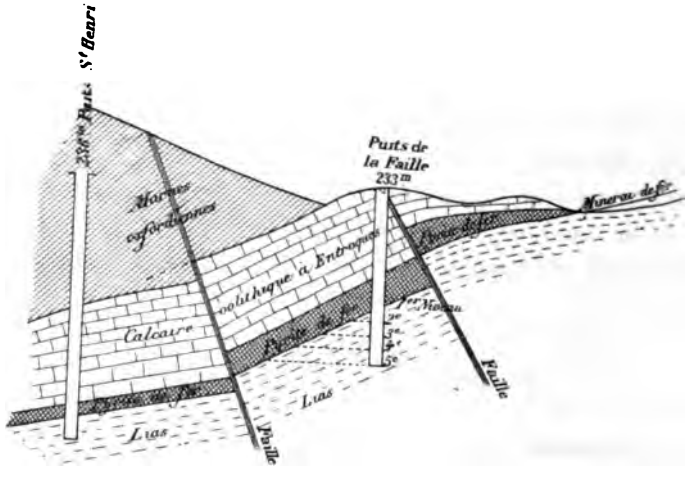


Fig. 46. — Coupe transversale du gîte de Saint-Julien-de-Valgalgues.

l'étage oolithique inférieur, au contact du calcaire à encrines, entre l'oolithe moyenne et le lias. La masse pyriteuse a la forme d'un fuseau dont l'une des extrémités regarde le N. 15° E. et

l'autre le S. 15° O. ; deux failles presque verticales la recoupent. Sa puissance varie de 1 à 12 mètres. L'exploitation se fait à ciel ouvert et par des puits.

La présence de fossiles pyritisés nombreux dans la pyrite a fait admettre que l'origine de ce gîte est due à l'imprégnation résultant de sources minérales.

La richesse en soufre de la pyrite va, d'après les analyses, en diminuant au fur et à mesure que l'on atteint des profondeurs plus grandes.

La pyrite de Saint-Julien a, comme gangues, la chaux carbonatée, une certaine quantité de fluorure de calcium et un mélange de grès blanc et d'argile ; elle est d'une dureté moyenne et ne fournit que peu de poussière. Sa valeur commerciale est moindre que celle des pyrites du Rhône, malgré sa haute teneur en soufre ; mais néanmoins les usines du midi de la France (Salindres, Rassuen, Plan d'Arren, Berre et Marseille) l'emploient comme source d'acide sulfurique.

B. — GITE DU SOULIER

Ce gisement, exploité dès 1858, a fourni beaucoup autrefois ; après avoir été provisoirement arrêté dans son exploitation par des difficultés d'épuisement et de boisage, il a été repris en 1889.

Il se compose de deux parties : l'une, située dans la dolomie infraliasique, a 40 mètres d'épaisseur et affecte la forme d'un filon ; le minerai remplit plusieurs failles parallèles de direction moyenne N.-E. S.-O. ; sa teneur est de 40 p. 100 de soufre ;

L'autre partie, située dans le trias supérieur, est très irrégulière et se compose de petits éléments de filons et d'amas lenticulaires de forme et de teneur très variables.

La pyrite du Soulier est peu arsénicale, mais très altérable et à gangue de calcaire magnésien.

3° GISEMENTS DE L'ARDÈCHE

Beaucoup de gisements sont connus dans l'Ardèche ; ils ont la même direction générale que ceux du Rhône et du Gard ; un seul a été l'objet d'une exploitation régulière, celui de Soyons.

ANALYSES DES PYRITES DU GARD ET DE L'ARDÈCHE

	SAINT-JULIEN-DE-VALGALGUES						SOULIER			SOYONS			
	Affleurements		1er niveau à 32m du sol	2e niveau à 60m du sol	Niveau inférieur à 87m	Autre exemple	Roches de choix	Tout venant	Menue altéré	I	II	III	IV
	En blocs	Menue											
Soufre	49,15	41,95	44,13	42,87	41,13	33,96	52,58	44,93	30,14	49,68	47,74	44,94	43,94
Fer	43,24	38,49	38,24	37,94	36,85	31,98	46,07	39,62	32,33	42,88	43,04	39,34	39,15
Plomb	»	»	»	»	»	»	»	»	0,19	»	»	»	»
Zinc	»	»	»	»	»	»	»	»	0,40	»	»	0,12	»
Arsenic	0,11	0,15	0,05	0,10	0,08	0,16	0,04	0,03	0,04	0,39	0,23	0,31	0,16
Antimoine	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0,47	»	0,29	traces
Carbonate de chaux	2,55	»	5,52	2,86	9,69	24,27	»	5,78	»	»	»	»	»
Carbonate de magnésie	traces	»	traces	traces	0,08	traces	»	4,42	»	»	»	»	»
Sulfate de chaux	»	1,58	»	»	»	»	»	»	4,80	»	1,67	0,70	»
Sulfate de magnésie	»	»	»	»	»	»	»	»	3,23	»	»	»	»
Fluorure de calcium	1,09	traces	traces	traces	traces	traces	traces	»	traces	0,33	traces	0,63	traces
Gangue insoluble	2,48	8,29	10,20	13,19	11,23	7,82	0,54	3,76	18,70	4,15	4,65	10,92	11,76
Oxygène en excès	»	5,53	»	1,40	0,38	0,97	»	0,42	3,83	1,02	0,54	»	0,26
Eau	1,33	3,90	1,74	1,59	0,57	0,83	0,51	0,90	6,49	1,15	0,86	2,73	4,58
Total	99,95	99,86	99,88	99,95	100,01	99,99	99,74	99,86	100,15	100,08	99,73	99,98	99,85

GITE DE SOYONS

Géologie. — La mine de Soyons est située en face de Valence et à 4 kilomètres. La pyrite s'y présente en amas stratifiés dans le trias, au toit d'un banc de dolomie dont elle est séparée par un lit marneux de $0^m,25$ à $0^m,50$. Sa direction est la même que celle des gîtes précédents ; elle est exploitée à flanc de coteau. Le gisement est reconnu sur 270 mètres en direction et 160 mètres suivant la pente. Sa puissance ne dépasse jamais 1 à 2 mètres.

Nature du minerai. — La pyrite diffère de celles du Rhône ; elle est de coloration grise ou noire et cristallisée en rognons mamelonnés de structure rayonnée. Elle est très dure, fait feu au briquet et ne donne que peu de menu. Elle contient de l'arsenic, de l'antimoine et du fluorure de calcium ; sa gangue est argilo-siliceuse.

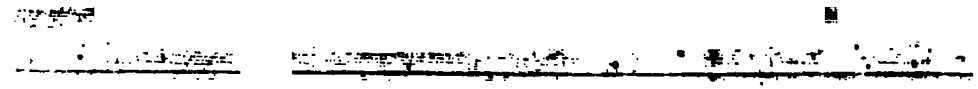
Nous donnons ci-joint (page 298) un tableau d'analyses des pyrites du Gard et de l'Ardèche.

Bibliographie des pyrites françaises.

* 1876. Aimé Girard et Morin. — Etude des pyrites employées en France. (*Ann. de chimie et phys.*, 5e série, t. VII.)

— P. Manthès. — Gisements de pyrite des environs d'Alais.

— Michel Lévy. — Feuilles au $\frac{1}{80.000}$ de Bourg et Lyon.



SÉLÉNIUM ET TELLURE

Se; Eq. = 39,75; P. *at.* = 79,50
Te; Eq. = 64,5; P. *at.* = 129

Propriétés chimiques. — On sait l'étroite analogie chimique qui rattache au soufre le sélénium et le tellure. Ces deux métalloïdes, dont on pourrait encore rapprocher l'arsenic et l'antimoine, semblent, dans certains gisements, former, avec les métaux divers, des combinaisons analogues aux sulfures. Le fait est surtout frappant pour le sélénium qui constitue des séléniures complexes de cadmium, fer, nickel, cuivre, mercure, plomb, argent, et qu'on retrouve dans divers soufres (îles Lipari, par exemple); dans certaines pyrites, comme celle de Fahlun en Suède. Le tellure est plutôt connu par son affinité particulière pour les métaux précieux, en particulier pour l'or (qui résiste à l'action du soufre). C'est ainsi qu'en Hongrie on trouve la sylvanite ou tellurure graphique (Au, Ag^2), Te^3; la nagyagite $(Pb, Au)^2 (Te, S, Sb)^3$; en Californie, un tellurure d'or, la calavérite. Le sélénium a également assez d'affinité pour l'or pour que, dans certaines mines de pyrite comme Fahlun, on isole pratiquement les minerais aurifères en se réglant sur l'observation d'un séléniure bien visible. Cette analogie entre le sélénium ou le tellure et le soufre, lui-même comparable à l'oxygène, a peut-être quelque rapport avec la loi numérique qui semble réunir approximativement les équivalents de ces corps : O = 8 ; S = 16 (8 × 2) ; Se = 40 (8 × 5) ; Te = 64 (8 × 8).

Usages. — Les *usages* du sélénium et du tellure sont à peu près nuls et restreints au laboratoire. Cependant on a essayé d'utiliser

en physique la propriété qu'a le sélénium de varier, dans une proportion très forte, de résistance électrique sous l'influence de la lumière. En en interposant un fragment dans un circuit et mettant un téléphone au bout, on peut, dès lors, par un rayon tombant sur le sélénium, transmettre à distance au téléphone une série de vibrations constituant un alphabet conventionnel.

SÉLÉNIUM

Le sélénium, qu'on a retiré d'abord des dépôts des chambres de plomb, s'extrait industriellement surtout d'un minerai sélénifère d'argent et se vend par petits cylindres d'environ 7 à 8 centimètres de long. Comme minéraux, on peut citer la Clausthalite, la Zorgite, la Lehrbachite, etc.

TELLURE

Le tellure est obtenu, en majeure partie, par le traitement chimique des minerais d'or de Transylvanie. On y trouve la sylvanite en dendrites semblables à des caractères persans sur des veines de quartz dans des porphyres trachytiques; la nagyagite, associé à Nagyag avec de la blende et de la rhodonite, à Offenbanya avec des minerais d'antimoine.

L'extraction du tellure se fait pratiquement en partant de certains minerais d'or de Nagyag et d'Offenbanya qui en contiennent de 1 à 5 p. 100, en employant une méthode indiquée par Lowe en 1853.

Le minerai est traité dans une chaudière en fonte par de l'acide sulfurique concentré ; puis, on étend la dissolution avec de l'eau renfermant de l'acide chlorhydrique, de manière à précipiter l'argent. On décante et on précipite le tellure au moyen de lames de zinc sous forme d'une poudre noire et sèche. On obtient ainsi du tellure brut qui contient 75 p. 100 de tellure, 20 à 25 p. 100 de cuivre, un peu d'antimoine, d'arsenic et de fer, tandis que l'or et l'argent rentrent dans les résidus de l'opération qui passent à la fonte plombeuse.

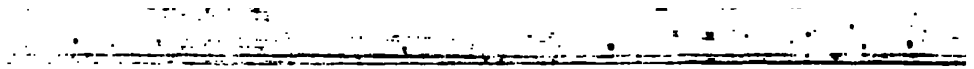
On extrait par an 100 à 150 kilogrammes de tellure brut, vendu de 100 à 125 francs le kilogramme. La production est souvent très faible; car, vu le peu d'usages de ce corps, on ne trouve que difficilement à le vendre.

Bibliographie.

1853. Lowe. — (*Journal für praktische Chemie*, t. LX, p.18.)

1876. Silliman. — Tellurium ores of Colorado. (*New Haven, Amer. J. of Sc.*, 3e, VIII, p. 25.)

*188.. Beaugey. — Traitement des minerais d'or à Zalalthna. (*Ann. des M.*, 8e, t. IV, p. 486.)



FAMILLE DU CHLORE

CHLORE, BROME, IODE, FLUOR

Cl.	Eq. = 35,5; P. *at.* = 35,5	Br.	Eq. = 80; P. *at.* = 80
I.	Eq. = 127; P. *at.* = 271	*Fl.*	Eq. = 19; P. *at.* = 19

Le chlore, le brome, l'iode et le fluor, dont les affinités chimiques ont été depuis longtemps mises en lumière, forment en géologie, par suite de la différence de solubilité de leurs sels, deux groupes un peu distincts; l'un : chlore, brome, iode, concentré presque exclusivement dans les eaux plus ou moins salines et leurs produits d'évaporation; l'autre, le fluor, jouant un rôle dans les remplissages filoniens. Ce n'est pas que les eaux thermales qui ont incrusté les filons n'aient dû contenir du chlore, du brome et de l'iode à la façon des eaux minérales actuelles; le rôle de ces éléments comme minéralisateur paraît parfois très net; mais, ne formant presque uniquement que des sels solubles, ils ne s'y sont pas plus déposés que les alcalis également abondants dans les eaux; ce n'est guère qu'aux affleurements des filons, dans des régions très sèches de l'Amérique du Sud, et par suite de réactions secondaires, qu'on trouve des chloro-bromo-iodures métallifères. Au contraire, le fluor se présente dans les filons sous deux formes principales dont l'une assez abondante : fluorine et cryolite.

Nous allons passer successivement ces métalloïdes en revue :

CHLORE

Le chlore joue un rôle important dans l'industrie sous forme d'acide chlorhydrique, de chlorures (chlorure de chaux) et d'hypochlorites décolorants. Nous aurons à étudier assez longuement deux des principaux de ses sels : les chlorures de sodium et de potassium, à propos du sodium et du potassium. Nous renvoyons donc, pour ce qui concerne le chlore, aux chapitres correspondants. C'est le chlorure de sodium qui en constitue la grande source industrielle.

BROME

Usages. — Le brome n'a eu longtemps que des *usages* assez restreints ; on ne l'employait guère que dans les laboratoires de chimie et de pharmacie. Le développement de la photographie aux bromures (gélatino-bromures, etc.) en a fait chercher des gisements nouveaux.

Gisements. — Autrefois, on retirait le brome des eaux-mères des marais salants, en Bretagne et dans le midi de la France ; des eaux-mères des cendres de varech en Angleterre, et de celles des salines de Kreuznach en Allemagne. La source la plus importante de brome que l'on connaisse dans le monde entier est peut-être l'eau de la mer Morte (3 grammes de bromure de magnésium par mètre cube), mais elle est restée jusqu'à présent à peu près inutilisée. C'est de *Stassfurt* (Allemagne)[1] qu'on extrait aujourd'hui la presque totalité du brome.

La fabrication du brome à Stassfurt commença en 1865 et a suivi la progression suivante :

1865	800	kilogrammes.
1870	20 000	—
1876	50 000	—
1882	170 000	—
1885	400 000	—

[1] Voir plus loin, au chapitre du *Potassium*.

Le procédé adopté est celui du docteur Franck[1].

On part des eaux-mères de la fabrication du chlorure de potassium qui sont principalement formées de chlorure de magnésium, de sodium, de potassium et de sulfate de magnésie. Leur teneur en brome varie de 0,10 à 0,55 p. 100. Le traitement consiste à chauffer avec un mélange de bioxyde de manganèse et d'acide sulfurique.

$$2\,(SO^3HO) + KBr + MnO^2 = KOSO^3 + MnOSO^2 + 2\,HO + Br$$

Le brome se condense d'abord dans un serpentin; puis sur des rognures de fer humectées d'eau où se fait du bromure de fer avec de l'eau bromée.

L'opération donne, au début, du brome; après quoi elle produirait un mélange de brome et de chlore, enfin du chlore seul. On s'arrête avant d'avoir retiré tout le brome. Puis, comme ce brome contient du chlore, on chauffe un peu pour obtenir le départ du chlore.

Le brome est versé dans des flacons qui en contiennent 2 kilogrammes et se vend par caisses de 4 kilogrammes. Pour l'exportation lointaine, on combine le brome au fer et l'on évapore à siccité.

Le brome de Stassfurt se distingue des autres parce qu'il ne contient aucune trace d'iode, le gisement n'en renfermant pas, tandis qu'il en existe toujours dans le brome des eaux-mères des marais salants et des iodures de varech.

Le prix du brome qui était, il y a vingt ans, de 60 à 70 francs le kilogramme, est tombé à 3 francs depuis le développement de cette industrie à Stassfurt.

On prépare à Stassfurt, outre le brome, les bromures de potassium, de sodium, de calcium et de magnésium.

IODE

L'iode a quelques usages en pharmacie et dans les laboratoires. En industrie, on l'utilise dans certains procédés pour l'extraction

1888. Janet. — Sur le traitement des sels de Stassfurt. (*Ann. des M.*, 1888, p. 504.)

de l'or et de l'argent des pyrites (procédé Claudet). Son prix, assez variable, est, dans ce cas, un inconvénient.

La plus grande source d'iode est une source organique : ce sont les eaux-mères des soudes de varechs. Les varechs ont en effet, ainsi que certains autres organismes, comme les éponges, les raies, les morues, la propriété de concentrer les quantités très minimes d'iode que renferme l'eau de mer.

On en extrait également des iodates et iodures contenus dans les azotates de soude du Chili.

FLUOR

Le fluor, dont de faibles traces ont été reconnues récemment dans l'eau de mer, se présente surtout en géologie sous deux formes : la fluorine et la cryolite. Nous aurons l'occasion de reparler de la *cryolite*, qui est un minerai d'aluminium, à propos de ce métal. La *fluorine*[1] a quelques usages restreints : la métallurgie du fer en consomme un peu comme fondant (Creusot); on s'en sert dans les laboratoires pour obtenir l'acide fluorhydrique, utilisé lui-même dans la gravure sur verre, l'acide hydrofluosilicique, etc. ; enfin, on a essayé quelquefois de la tailler comme pierre d'ornement.

Son gisement habituel est la gangue de certains filons métallifères : souvent les filons d'étain, mais surtout les filons de quartz plombifère parfois accompagnés de barytine, qui ont été si nombreux dans l'Europe centrale pendant le trias et l'infralias. On se contente en général de l'extraire de ces filons comme produit secondaire ; cependant de rares mines l'exploitent spécialement : ainsi, en Angleterre, deux mines du Derbyshire, situées dans un calcaire carbonifère, en ont produit 122 tonnes en 1881 ; une mine du Devonshire, le Tamar Silver Lead, en a extrait dans la même année 250 tonnes valant environ 17 à 18 francs la tonne.

---

[1] Coll, École des Mines, 1811 à 1814.

PHOSPHORE

Ph. Eq. = 31 P.; *at.* = 31

USAGES ET STATISTIQUE DU PHOSPHORE

Le phosphore[1] entre dans l'industrie sous deux formes principales : le phosphore proprement dit, jaune ou rouge et le phosphate de chaux. En terminant, nous ajouterons seulement quelques mots sur un phosphate d'alumine utilisé comme gemme, la turquoise.

Le *phosphore* proprement dit a, lui-même, pour principale application, l'industrie des *allumettes chimiques*. Pour cet usage, on estime que la France seule en consomme 30 000 kilogrammes par an (25 à 30 milliards d'allumettes)[2]. L'Angleterre produit plus de cent milliards d'allumettes par an.

Les allumettes, après avoir été plongées dans un bain de soufre à 125°, sont garnies d'une pâte phosphorée qui, sous le frotte-

[1] M. Fuchs avait publié, en 1886, un remarquable mémoire géologique sur les phosphates au Congrès de Nancy de l'Association pour l'avancement des sciences. Nous en avons adopté en partie la marche générale en lui donnant les développements nécessaires et ajoutant un préambule sur les applications, le commerce et la statistique. Pour la France, l'importante description des phosphates français, publiée avec la statistique de l'industrie minérale en 1887, nous a été d'un précieux secours.

[2] La France, indépendamment de sa consommation, exporte environ un million de kilogrammes d'allumettes. En 1891, la production des manufactures de l'État a été exactement de 27.440.703.600 allumettes, dont 23.471.447.400 en bois au phosphore ordinaire; 1.523.448.000 en bois au phosphore amorphes soufrées; 1.845.483.700 en bois au phosphore amorphes paraffinées (suédoises) et le reste, soit 900.324.500 en cire. La fabrication des allumettes dans les cinq fabriques de Pantin, Aubervilliers, Saintines, Trélazé, Bègles et Marseille rapporte 20 millions nets à l'État sur un coût de 25 millions.

ment, enflamme le soufre. Avec les allumettes au phosphore rouge (amorphe) de plus en plus répandues, on met l'enduit phosphoré sur la boîte et l'on recouvre seulement l'allumette soufrée d'une pâte de chlorate de potasse, sulfure d'antimoine et colle forte.

Ce phosphore est extrait : soit des os d'animaux, soit du phosphate de chaux naturel employé en même temps et surtout comme engrais. C'est sur cette dernière application du phosphate de chaux que nous allons avoir à nous étendre ; mais auparavant il convient de mentionner son emploi en métallurgie.

Le *phosphate de chaux* non siliceux est, en effet, utilisé, sous forme d'additions, pour faciliter la déphosphoration complète des fontes de fer peu phosphoreuses ; on l'emploie également en grand dans la métallurgie du cuivre suivant le procédé Manhès et dans celle du nickel auquel il n'est possible de donner une malléabilité parfaite qu'au moyen du phosphore.

Arrivons enfin *à l'usage agricole.*

EMPLOI DU PHOSPHATE DE CHAUX EN AGRICULTURE

Comme nourriture des plantes, le phosphore et l'azote, dont les analogies chimiques sont si remarquables, se trouvent de même rapprochés par le rôle qu'ils jouent en agriculture. C'est, en effet, de ces deux corps principalement (et de la potasse) que vivent les végétaux ; et, pour une raison analogue, éliminés tous deux peu à peu des couches superficielles de terre végétale par l'influence de la végétation, ils doivent lui être restitués à l'état d'engrais artificiels : phosphate de chaux et nitrate de soude.

La présence de l'acide phosphorique dans certaines parties des plantes, et principalement dans leurs graines, est connue depuis bien longtemps. Lorsqu'on fait l'analyse de leurs cendres, on trouve :

Dans les herbages	de	4 1/2 à 18 p. 100.
Dans les céréales.	—	25 à 50 —
Dans les bulbes des racines	—	8 à 16 —
Dans les graines des racines.	—	40 à 50 —

En faisant le calcul de ce qu'enlève au sol français en acide phosphorique la récolte d'une année, on a trouvé dès lors, pour les 24 millions d'hectares cultivés, 300 000 tonnes d'acide phosphorique sur lesquelles 150 000 tonnes seulement sont restituées à l'état de fumier.

Le reste passe dans les animaux et de là, pour la plus grande part, dans l'homme où on le retrouve dans la charpente osseuse et en partie dans le cerveau. Cet acide phosphorique, introduit dans le corps humain, est ensuite absolument perdu et immobilisé par suite du respect porté aux sépultures.

Dès 1834, Elie de Beaumont, essayant de se rendre compte de ce qu'il avait pu être enlevé de phosphate au sol européen depuis l'ère chrétienne, arrivait aux chiffres suivants :

Les os de l'homme, remarquait-il, ne renferment pas moins de 53 p. 100 de phosphate de chaux tribasique, ce qui fait environ $2^{kg},440$ de cette substance dans le squelette d'un adulte, auxquels viennent s'ajouter encore $0^{kg},860$ contenus dans les chairs, soit un poids total de $3^{kg},300$ de phosphate tribasique contenu, en moyenne, dans un corps humain. En admettant, pour tenir compte des enfants, un poids total de 2 kilogrammes seulement de phosphate de chaux disparu avec chaque habitant de notre pays, et en estimant à un milliard le nombre total de ceux qui y ont vécu pendant dix-neuf siècles, il en résulte que la quantité totale de phosphate de chaux isolé dans les sépultures peut être représentée par une couche de 2 mètres de puissance, étalée sur un kilomètre carré, ou par une mince pellicule continue de 4 millièmes de millimètre d'épaisseur, répandue sur la surface de la France entière.

Si l'on ajoute à ce chiffre la quantité de phosphate emportée journellement par les fleuves à la mer, on se rend compte aussitôt de la nécessité de restituer au sol, sous peine d'appauvrissement, ce qui lui a été pris ainsi.

Cette restitution, il est vrai, peut s'opérer, pendant quelque temps et pour certains sols, par l'action du sous-sol. On a remarqué en effet que presque tous les terrains contenaient une certaine quantité de phosphore atteignant parfois, dans les calcaires des formations secondaires, 1 et même 2 p. 100 de phosphate de

chaux [1]. Mais cette teneur est exceptionnelle et les belles études de M. E. Nivoit sur le phosphate contenu dans les terrains des Ardennes ont montré que la proportion d'acide phosphorique disséminé dans les roches de cette région oscillait entre des limites beaucoup moindres, comme le montre le tableau suivant :

Eurite de Laifour et de Revin	0,186 à 0,294	p. 100.
Diorite de Mayrupt	0,205 à 0,230	—
Orthose de l'eurite de Mayrupt. . . .	0,096	—
Phyllades diverses de Deville et de Fumay.	0,020 à 0,122	—
Schistes dévoniens et siluriens. . . .	Traces à 0,077	—
Arkose de Fépin	0,002	—
Quartzites de Deville	Traces à 0,030	—
Calcaire dévonien de Givet	0,064	—

Outre que ces proportions sont faibles, il faut remarquer encore qu'en général le phosphate ainsi disséminé n'est pas assimilable par les végétaux et que, par suite, la nécessité de l'addition de phosphate venant du dehors s'impose comme une nécessité de la culture.

Cette nécessité est de mieux en mieux comprise et, en France notamment, par suite tant de la baisse de prix qui s'est produite depuis quelques années sur les phosphates que du développement des connaissances pratiques chez les agriculteurs, l'usage des phosphates se généralise de plus en plus. Une statistique de 1886, due à M. Gilchrist, évaluait aux chiffres suivants la consommation d'engrais phosphatés dans le monde :

Angleterre	500 000 tonnes.
Allemagne et Autriche	800 000 —
France.	250 000 —
États-Unis (y compris les phosphates ammoniacaux)	893 000 —
	2 443 000 tonnes.

Depuis, cette consommation a fortement augmenté; en France en particulier, elle a atteint 400 000 tonnes.

Nous venons d'ailleurs de voir qu'en France, si l'on voulait

[1] Cette proportion, relativement élevée, de phosphate de chaux disséminé dans les calcaires jurassiques et crétacés explique les bons effets produits par le chaulage des terres limoneuses à l'aide de ces calcaires employés comme amendements.

seulement compenser la perte annuelle en acide phosphorique, il faudrait en répandre plus de 150 000 tonnes par an : ce qui, à une teneur moyenne d'environ 20 p. 100 d'acide phosphorique, correspondrait au moins à 750 000 tonnes d'engrais (au lieu de 400 000 consommées en réalité).

Pour subvenir à ces besoins que les agriculteurs commencent à comprendre de plus en plus, nous devons examiner quelles *ressources connues en phosphates* offrent actuellement le monde et particulièrement notre pays. En France, une statistique très complète, effectuée en 1886, est arrivée, pour tous les gisements de phosphates alors exploités, — gisements répartis sur 30 000 hectares de superficie — à un cubage approximatif de 32 millions de tonnes de minerai valant, aux cours d'alors, plus d'un milliard et correspondant (à 40 p. 100 de phosphate réel, ou 20 p. 100 d'acide phosphorique) à 6 400 000 tonnes d'acide phosphorique, c'est-à-dire à la perte résultant pour le sol français de 42 récoltes consécutives.

Dans ce calcul, les départements de la Meuse, du Pas-de-Calais, de la Côte-d'Or et du Lot entraient seuls pour les chiffres suivants :

Meuse	24 196 000	tonnes.	16 à 22	p. 100	d'acide phosphorique.
Pas-de-Calais.	1 638 000	—	20 à 30	—	—
Côte-d'Or. . .	1 500 000	—	29	—	—
Lot	1 240 000	—	20	—	—

Il y a lieu de remarquer que ce cubage ne comprend nécessairement que les gisements exploitables dans les conditions actuelles du commerce du phosphate. Or, il existe certains niveaux géologiques qui contiennent, d'une façon constante, une assez faible proportion de phosphates et qni parfois seraient susceptibles d'être enrichis artificiellement. Tel est le cas pour la craie sénonienne, dont l'enrichissement naturel et local a donné les poches de phosphates riches contenant jusqu'à 37 p. 100 d'acide phosphorique, successivement découvertes, depuis juin 1886, à Beauval (Somme) (environ 500 000 tonnes), à Orville (Pas-de-Calais) (à peu près autant), puis en divers points de cette région et tout récemment encore près de Mons. Le jour où le prix des phosphates s'élèvera par suite de l'épuisement prévu des phosphates riches

actuels, beaucoup de ces couches, aujourd'hui délaissées, deviendront exploitables.

Une autre source d'acide phosphorique a commencé, depuis 1885, à jouer un rôle important, ce sont les scories de déphosphoration provenant de la métallurgie de l'acier au convertisseur basique. Là un procédé d'enrichissement artificiel, semblable à celui auquel nous faisions allusion plus haut, se trouve appliqué, dans un autre but, sur des couches de minerai de fer toarciennes ne renfermant originellement que 1 p. 100 au plus d'acide phosphorique. La déphosphoration jette par an dans le monde 400 000 tonnes de scories basiques contenant, en moyenne, 17 p. 100 d'acide phosphorique, avec :

Chaux.	Magnésie.	Oxyde de manganèse.	Alumine.	Oxyde de fer.	Silice.
50	4	5	2	14	8

Ces scories, employées d'abord avec quelque méfiance et dont la France ne consommait, en 1886, que 13 000 tonnes, valant sur place 162 000 francs, sont devenues, depuis, d'un usage de plus en plus général.

Au point de vue historique, le tableau suivant donne, pour les principaux gisements de phosphate français, la date de la découverte, l'horizon et la richesse.

1855. Ardennes, Meuse. — Albien. — Nodules à 35 ou 40 p. 100 de phosphate.
1868. Drôme. Saint-Paul Trois Châteaux. — Albien. — Sable à gros grain, 35/40 p. 100 ; nodules à 50/60 p. 100
— Ain : Bellegarde. — Albien. — Petits nodules à 40 p. 100.
1869. Lot : Tarn-et-Garonne. — Oxfordien. — Roche à 70/75 et 40/45 p. 100.
1873. Boulonnais. — Albien. — Nodules à 35/40 p. 100.
1876. Côte-d'Or (Auxois). — Lias inférieur. — Nodules à 60 p. 100.
1877. Pas-de-Calais : Pernes. — Albien. — Nodules à 40/45 p. 100.
— Mons (Belgique). — Danien. — Craie phosphatée à 20/25 p. 100.
1880. Haute-Saône (Jussey, Vitrey). — Lias inférieur. — Nodules à 60 p. 100.
— Gard (Tavel). — Néocomien. — Roche à 70 p. 100.
1883. Mons (Belgique). — Danien. — Sables phosphatés en poches à 60/65 p. 100.
— Nord (Cambraisis, Quiévry). — Sénonien. — Phosphate sableux à 20/25 p. 100.
1886. Somme et Pas-de-Calais (Beauval, Orville). — Sénonien. — Sables phosphatés à 70/75 p. 100.
1886. Oise (Hardiviller). — Sénonien. — Craie phosphatée à 25/30 p. 100.

En dehors de la France, il est difficile de cuber, même de la manière la plus approximative, les gisements de phosphates connus dans le monde.

En Russie et en Angleterre, M. Fuchs, remarquant que le niveau de l'albien affleurait sur près de 10 millions d'hectares, arrivait, en admettant un rendement de 100 kilogrammes de phosphate par mètre carré, à un milliard de tonnes de phosphate suffisant pour alimenter la consommation actuelle du monde pendant 300 ans.

En regard de ces chiffres, essayons de mettre quelques données sur la *production actuelle de phosphates* de divers pays, tels que la France, les États-Unis, l'Angleterre, etc.

Production des phosphates par pays. — En *France,* la production de phosphates était, en 1886, de 184 000 tonnes ayant une valeur moyenne d'environ 40 francs la tonne pour les phosphates préparés, c'est-à-dire réduits en poudre[1]. En 1889, elle a passé à 538 000 tonnes, valant à 39,29, plus de 21 millions.

L'exploitation a eu lieu, cette année-là, dans 18 départements, parmi lesquels trois, la Somme, le Pas-de-Calais et la Meuse ont fourni à eux seuls les 4/5 de la production totale de la France :

Somme	200 600 tonnes. .	37 p. 100 du total général.	
Pas-de-Calais. . . .	179 600 — . .	30 —	—
Meuse.	57 000 — . .	9 —	—

Sur la production française, une grande partie (plus de 150 000 tonnes), comme le montrent les tableaux, est exportée en Belgique, en Suisse, en Allemagne, en Angleterre, en Italie, tandis qu'il entre, d'autre part en France, des importations de la Caroline du Sud, de la Floride, etc.

La *Caroline du Sud*, un des premiers centres de production du monde, expédie par an en Europe 150 000 à 200 000 tonnes, dont plus de la moitié sont absorbées en Angleterre.

Ces gisements, ont fourni en 1885, 437 855 tonnes de roche lavée

[1] Le prix, variable suivant la teneur en acide phosphorique, était de 75 francs dans l'Yonne, 31 francs dans la Meuse, 40 francs dans le Pas-de-Calais, 70 francs dans la Somme.

représentant, au prix moyen de 6,5 dollars par tonne, 2 846 044 dollars.

La *Floride*, mise en valeur depuis 1889 seulement, produit actuellement près de 200 000 tonnes.

L'*Angleterre* a produit :

En 1884. 51 866 tonnes
En 1885. 30 000 — } avec une teneur de 45,55 p. 100 de phosphate.

Les importations dans ce pays ont été à la même époque :

	1884		1885	
Belgique	16,707	tonnes.	35,405	tonnes.
France	4,071	—	2,276	—
Portugal	30,713	—	19,242	—
États-Unis d'Amérique	116,650	—	138,844	—
Iles indo-occidentales hollandaises	21,594	—	11,588	—
Nord Amérique britannique	15,716	—	21,484	—
Iles indo-occidentales britanniques	11,857	—	7,727	—
Autres contrées	1,917	—	1,966	—
Totaux	219,225		238,572	

Parmi les autres pays producteurs de phosphates, nous aurons encore à citer la Belgique (Ciply, Mons, etc.) ; l'Allemagne (Nassau) ; la Russie ; le Canada ; la Norvège (Oddegarden) ; l'Espagne (Caceres), etc.

Si nous voulons maintenant donner quelques notions sur le *commerce des phosphates*, il convient d'abord de parler d'une question sur laquelle on a beaucoup discuté et varié d'avis, l'assimilabilité des phosphates ; après quoi nous indiquerons quelle est, dans les divers centres de production, l'échelle approximative des prix.

Assimilabilité des phosphates. — Deux phénomènes de nature différente jouent un rôle dans l'assimilabilité des phosphates par les plantes : leur état chimique et leur degré de cohésion. Nous parlerons d'abord du premier point.

Pendant longtemps, on a commencé par croire que les plantes recevaient leurs aliments sous forme de dissolution et n'absorbaient en conséquence l'acide phosphorique que s'il leur arrivait

à l'état liquide; s'il avait été, préalablement à son emploi, transformé par l'acide sulfurique en superphosphate soluble dans l'eau. En sorte qu'en 1885 encore, le prix des superphosphates était encore près du double de celui des phosphates en poudre.

L'expérience a montré tout au contraire :

1° Que les plantes pouvaient parfaitement vivre dans un sol sableux ou rocailleux ne renfermant pas d'eau, à la condition d'être alimentées d'eau extérieurement par la rosée;

2° Qu'il n'existe jamais dans le sol, à l'*état de dissolution*, des quantités de phosphates suffisantes pour l'alimentation des plantes;

3° Que le superphosphate (acide phosphorique rendu soluble dans l'eau) repasse avec une extrême rapidité, au contact du sol, en particulier au contact du fer et de l'alumine, à l'état de phosphate insoluble;

4° Que le phosphate de fer, d'alumine, les phosphates bicalcique ou tricalcique, tous insolubles dans l'eau, exercent sur la productivité du sol une influence égale ou presque égale à celle des superphosphates.

Après constatation de ces résultats, beaucoup d'agriculteurs sont arrivés à admettre que la différence en faveur des superphosphates était à peine de 10 p. 100 et, qu'au lieu de faire la conversion coûteuse en superphosphate, on devait se borner à une pulvérisation dont nous donnerons plus loin la raison. Cependant certaines irrégularités dans l'effet et des habitudes enracinées font que, dans la pratique courante, l'emploi des superphosphates reste incomparablement plus répandu que celui des phosphates finement moulus.

En outre, on a continué à considérer (peut-être sans fondement très sérieux) l'acide phosphorique à l'état de phosphate soluble dans le citrate d'ammoniaque comme supérieur à celui qui y est insoluble, en supposant que des acides analogues à l'acide citrique, contenus dans les racines des plantes, dissolvaient le premier et non pas le second. D'où la proscription qui frappe encore les phosphates contenant plus de 10 p. 100 de fer et d'alumine [1], les

[1] La compagnie de Saint-Gobain, pour la fabrication des superphosphates, n'admet pas plus de 5 p. 100 de fer et d'alumine. Dans la Somme, on vend ordinairement avec garantie de 3 p. 100 maximum.

phosphates de fer et d'alumine n'étant pas solubles dans le citrate et le fer et l'alumine ayant en outre pour effet d'activer ce qu'on appelle la *rétrogradation*, c'est-à-dire le retour du superphosphate à l'état de phosphate bicalcique.

Il semble bien qu'il y ait là encore un préjugé dont on doive revenir peu à peu : en effet, l'acide phosphorique contenu dans le fumier n'est pas soluble dans le citrate, les sols les plus fertiles ne contiennent que fort peu de phosphate qui y soit soluble ; enfin le phosphate soluble dans le citrate semblerait, d'après des études de M. Joly, être non pas du phosphate bibasique, mais un phosphate tribasique analogue au phosphate naturel.

Nous dirons plus loin que le phosphate de chaux peut se présenter dans trois catégories de gisements principales, dans les roches éruptives, dans des filons ou dans des couches sédimentaires. Si l'on examine ces trois catégories de phosphates au point de vue de leur solubilité dans le citrate, on trouve les résultats suivants : les apatites en roches ou en filons sont à peu près insolubles ; la partie soluble des phosphorites (filons et poches) oscille entre 13 (Cacérès) et 30 p. 100 (Quercy); enfin celle des nodules ou rognons des terrains sédimentaires varie de 30 (Ardennes, Russie) à 50 p. 100 (Auxois, Cher).

Un autre élément qui joue un rôle capital dans l'assimilabilité d'un phosphate, c'est son état de division. Plus une poudre de phosphate est fine, plus son action sur les végétaux est marquée. Aussi attache-t-on aujourd'hui une grande importance à la pulvérisation très complète des phosphates.

Ces remarques faites, nous pouvons arriver à l'appréciation de la valeur d'un phosphate, et par suite à celle d'un gisement.

Prix des phosphates. — Le prix des phosphates, lorsqu'on a tenu compte de la restriction indiquée précédemment dans la teneur en fer et en alumine et des frais plus ou moins grands de pulvérisation, dépend essentiellement de la teneur en acide phosphorique, formant un phosphate soluble dans le citrate d'ammoniaque.

Pendant longtemps, on a pris, comme point de départ de l'échelle de la valeur des minerais phosphatés, la teneur de 60 p. 100 de

DÉPARTEMENTS	PRODUCTION en 1889	NATURE	TENEUR en acide phosphorique après dessiccation à 120°	OXYDE DE FER et ALUMINE	PRÉPARATION	PRIX moyen sur place en 1889	PRIX moyen sur place en 1886	PRIX moyen du kilogramme d'acide phosphorique en 1886	LIEUX DE DESTINATION
Ardennes	10.000	Nodules.	16 à 22	5 à 15	Séchage et mouture.	28,10	25	1,37	Département, Bretagne et Belgique.
Aveyron	3.368	—	20	17	Mouture.	31,85	30	1,50	Bordeaux, Toulouse, Agen.
Côte-d'Or	8.000	—	29	10,40	Broyage, séch., criblage.	45,00	65	2,23	Paris, Saint-Gobain, Suisse, Italie.
Drôme	8 000	Sables et nodules	20	5,30	Débourbage, criblage.	30,00	29	1,45	Midi.
Gard	9 000	Nodules.	21	4	Trituration.	42,00	38	1,80	Midi.
Lot.	18.150	Phosphorites.	20	16	Mouture.	45,00	34	1,70	Midi.
Meuse	57.000	Nodules.	16 à 22	5 à 15	Lavage, mouture.	32,00	31	1,70	Départements limitrophes, Bretagne.
Oise (Hardiviller) . . .	27.000	Sable sénonien.	»	»	»	34,00	»	»	»
Pas-de-Calais (Orville) .	179.000	—	20 à 37	1 à 4	Séchage et mouture.	30,00	45	1,50	France, Angleterre, Allemagne.
Somme (Beauval) . . .	200.000	—	37	1	—	50,00	76	1,85	Angleterre, Allemagne, Belgique, Italie, Espagne.
Vosges	600	Nodules.	28	(?)	Pulvérisation.	35,00	35	1,25	Angleterre, Suisse, Italie, Belgique.

phosphate, qui était celle des minerais de la Caroline. En appelant P le prix du kilogramme de phosphate tribasique pour un minerai à 60 p. 100, le prix du kilogramme de phosphate correspondant à une proportion A de phosphate assimilable, était :

$$x = \frac{A}{60} \times P$$

c'est-à-dire que le prix du minerai, obtenu en multipliant x par la teneur en phosphate, était beaucoup plus que proportionnel à sa teneur en acide.

A trois reprises successives depuis quelques années, les prix des phosphates ont fortement baissé en France : d'une part, à la suite de la découverte des gisements du Pas-de-Calais, qui ont à peu près annihilé les autres gisements français ; puis, en juin 1886, par les trouvailles de la Somme qui ont, à leur tour, fortement déprécié les précédents produits, enfin, en 1891, par la mise en valeur des phosphates de la Floride[1].

En 1889 et 1886, nous trouvons, suivant les gisements, les prix résumés dans un tableau, page précédente, prix qui pourront servir de termes de comparaison[2].

Au début de 1892, on cotait les phosphates de la Somme[3] (à 70/75 de phosphate), 1 franc l'unité de phosphate par tonne[4] (soit 70 à 75 francs), contre 1 fr. 45 à la fin de 1890 ; les phosphates à 60/65, 0 fr. 63 contre 1 fr. 10 ; la craie de Ciply à 40/45, 0 fr. 40 contre 0 fr. 50.

Dans les superphosphates, on comptait, par unité d'acide phosphorique aux 100 kilogr. ; autrement dit, par kilogramme d'acide

[1] Le prix du kilogramme d'acide phosphorique s'est abaissé, dans les dix dernières années, de 2 francs à moins de 0 fr. 50.

[2] Parmi ces prix, quelques-uns, plus élevés que les autres, résultaient d'anciens marchés.

[3] Les sables phosphatés de la Somme, du Pas-de-Calais et de l'Oise fournissent aujourd'hui près des 4/5 des phosphates français.

[4] Par définition, un phosphate à 70 p. 100 (700 kilogr. de phosphate pur à la tonne) renferme 70 *unités* et vaut 70 fois le prix de l'unité. C'est-à-dire que ce prix de l'unité est celui de $\frac{700}{70}$ ou 10 kilogr. de phosphate. On passe de la teneur en phosphate à la teneur en acide phosphorique en multipliant par un coefficient 0,458. Dans le commerce de détail, on compte de préférence un prix fixe par 100 kilogr. ou par tonne, pour des richesses comprises entre telle ou telle limite. On exige, en outre, une ténuité telle que tout passe au tamis n° 60 ou 70.

phosphorique soluble dans le citrate[1], environ 0 fr. 45; soit, pour un superphosphate titrant 18 p. 100 d'acide phosphorique, 81 francs. Le kilogramme d'acide phosphorique a baissé, entre 1886 et 1892, de près de 60 p. 100.

DIVISION EN TROIS CATÉGORIES DE GISEMENTS

NATURE, DISPOSITION, TENEUR ET VALEUR RELATIVE DE CES GISEMENTS

Pour terminer ces généralités, nous ajouterons seulement quelques mots sur la teneur et l'importance numérique des minerais contenus dans les trois grandes classes de gîtes précédemment mentionnées : roches, filons, couches, qui correspondent à peu près à la classification minéralogique : apatite dans les roches, phosphorite dans les filons, nodules et sables en couches.

Dans les *roches éruptives*, le phosphate est essentiellement cristallisé sous forme d'*apatite*, en cristaux, tantôt isolés, comme dans les gneiss, les micaschistes, les granites et les trachytes ; tantôt groupés en masses plus ou moins considérables, comme dans les amphibolites à rutile.

Dans les *filons*, ainsi que dans une catégorie de gîtes d'origine discutée, les *amas* et les *poches*, le phosphate de chaux affecte une forme intermédiaire, à texture cristalline, à laquelle on a donné le nom de *phosphorite*.

Certains filons où le phosphate existe néanmoins à l'état d'apatite, comme ceux d'Oddegarden, en Norvège, doivent être, en réalité, considérés, ainsi que nous le dirons, comme des roches éruptives dont l'apatite serait un des minéraux constituants.

Enfin, le phosphate de chaux est amorphe dans les *terrains sédimentaires* et s'y présente en général en masses concrétionnées ou en rognons à structure concentrique, auxquels on a donné le

[1] 100 kilogrammes de phosphate donnent environ (avec 90 kilogrammes d'acide sulfurique), 175 kilogrammes de superphosphate. Si le phosphate était à 70 p. 100 (32 p. 100 d'acide phosphorique), le superphosphate titrera 18 p. 100 d'acide phosphorique.

nom de *nodules* et que l'on a longtemps, à tort, assimilés à des coprolithes. Ces nodules sont en réalité des concrétions phosphatées auxquelles un reste organique (débris de spongiaire, coquille de mollusque, etc.), rempli de vase crayeuse, a servi de centre.

D'autres fois, le phosphate imprègne de la craie ou des sables comme dans le Nord de la France. Dans ce cas, les granules phosphatés, entourant les éléments calcaires, sont, le plus souvent, de fins débris organiques phosphatisés (os, écailles de poissons, etc.). La concentration naturelle de cette *craie phosphatée* a produit des poches de *sables phosphatés*.

Nous avons dit plus haut comment l'assimilabilité variait de l'une à l'autre de ces classes de gîtes. Au point de vue de la *teneur*, on peut faire les remarques suivantes :

1° L'*apatite* disséminée dans les roches éruptives est un fluophosphate chimiquement pur [3 (3 Ca O. PhO^5) + Ca (Fl, Cl) ou $Ca^5O^{12}P^3$ (Fl, Cl)], mais il est à peu près impossible de la séparer mécaniquement du feldspath, du quartz ou de l'amphibole auxquels elle est presque toujours associée, et ce n'est qu'exceptionnellement qu'elle se rencontre en masses assez considérables pour constituer des gîtes industriellement utilisables.

Sa présence est toujours localisée et son exploitation restreinte, et par suite nécessairement éphémère.

Il en résulte que les apatites de la Norvège, celles du cap de Gate, en Espagne, et même celles du Canada, si précieuses à cause de leur pureté et de leur teneur élevée, généralement supérieure à 70 p. 100, ne fourniront jamais qu'un appoint secondaire à la production générale.

2° La *phosphorite* est toujours intimement mélangée à une proportion variable de quartz ; dans les gîtes d'incrustation franche, où la structure filonienne zonée est nettement conservée, ce quartz forme des rubannements qui alternent avec ceux de la phosphorite. Dans les amas et les poches, où la formation a pu être accompagnée de phénomènes de dissolution et de substitution moléculaire, le quartz est associé, en toutes proportions, au phosphate de chaux et ce groupement, qui a reçu le nom de *terre phosphatée*, est mélangé aux résidus de la dissolution qui consistent principalement en sable quartzeux et en argile ferrugineuse.

Mais, quelle que soit l'allure particulière du filon ou de la poche, il est un phénomène qui reste constant et dont on ne saurait trop signaler l'importance industrielle : c'est l'*augmentation du quartz dans la profondeur* et, par suite, la *diminution de la teneur des minerais* à mesure que l'on s'enfonce au-dessous de la surface du sol ; cet appauvrissement étant encore accéléré, dans le cas des poches, par l'augmentation, avec la profondeur, des produits stériles de la dissolution.

C'est, dès lors, aux affleurements que ces gîtes présentent leur plus grand développement, en même temps que leur plus grande richesse. L'une et l'autre sont parfois considérables et la réunion de gîtes de phosphorite nombreux dans une même région (Quercy, Nassau, province de Cacérès) peut donner lieu à des exploitations importantes.

Mais comme tous les caractères favorables de ces gîtes s'atténuent à mesure que l'on s'enfonce, ces exploitations elles-mêmes ont une durée forcément limitée et c'est leur mise en valeur successive, plutôt que leur utilisation continue, qui fournit à l'agriculture les phosphates riches dont elle a besoin.

3° Enfin les gîtes sédimentaires sont, de beaucoup, la source la plus importante de phosphates.

Les *nodules,* empâtés au milieu d'une gangue argileuse, glauconieuse, sableuse ou calcaire, sont, en général, assez faciles à isoler par lavage ; mais ils sont loin d'être constitués par du phosphate pur et renferment, en outre, des silicates de chaux, d'alumine et de fer. Leur teneur en phosphate tribasique oscille entre 20 et 60 p. 100, le chiffre de 36 à 40 p. 100 étant caractéristique des immenses gisements du Nord-Est de la France, de l'Angleterre et de la Russie centrale.

Les *nodules* des gîtes en couche sont, en général, peu abondants par unité de surface et, dans quelques gîtes exploités, leur proportion ne dépasse pas 30 à 40 kilogrammes par mètre carré ; mais, en revanche, la surface de ces gîtes est très étendue, et c'est par milliers de kilomètres carrés que l'on mesure les régions où règnent ces couches phosphatisées dans les Ardennes et l'Argonne, dans l'Auxois, dans les comtés de Bedfort et de Buckingham, dans la Caroline du Nord, et sur les rives du Volga.

La *craie phosphatée* a généralement une teneur insuffisante pour motiver par elle-même une exploitation ; mais elle a donné, par un phénomène de concentration mentionné plus haut, des poches de *sables phosphatés* très riches, qui peuvent, comme à Beauval (Somme), contenir jusqu'à 37 p. 100 d'acide phosphorique.

Ceci posé, nous allons passer à la description méthodique des divers gîtes de phosphates, en considérant successivement, suivant l'ordre général adopté par nous : 1° les gîtes en roches éruptives; 2° les gîtes filoniens; 3° les gîtes sédimentaires.

Bibliographie générale des phosphates [1].

1843. Girardin et Preisser. — Mémoire sur les os anciens et fossiles. (*Ann. Ch. et Ph.*, t. III, p. 370.)

1844. Fownes. — On the existence of phosphoric acid in rocks of igneous origin. (*London philos. transactions*, t. I, p. 53, 1844.)

1855. Meugy. — Sur la découverte du phosphate de chaux en France. (*Ann. des M.*, 5e série, t. XI, p. 149.)

1855. — Frémy. Recherches chimiques sur les os. (*Ann. Ch. et Ph.*, t. I, p. 47.)

* 1856. Elie de Beaumont. — Etude sur l'utilité agricole et les gisements géologiques du phosphore. (*Mém. de la Soc. d'Agric.*)

1857. Delanoüe. — Sur l'utilité du phosphore pour l'amélioration de la terre végétale. (*B. S. G.*, 2e série, t. XIV, p. 899.)

* 1868. Daubrée. — Sur la découverte et la mise en exploitation de nouveaux gisements de phosphate de chaux. (*Ann. des M.*, 6e série, t. XIII, p. 67.)

1877. Brylinski et Lionnet. — Phosphates de chaux fossiles. (*Soc. géol. de Norm.*, t. IV, p. 3.)

Dr Vœlcher. — On the chemical composition of phosphatic minerals for agricultural purposes. (*Journ. of the Roy. agric. Soc.*, no XXII, part. II.)

1877-78. Lionnet. — Phosphates de chaux fossiles; géologie et origine. (*Bull. Soc. linn. de Norm.*, 3e série, t. II, p. 351. Caen, 1877-78.)

1878. Gamper. — *Alpine* phosphate. (*Jahrbuch der KK. geol. Reichsanstalt*, t. XXVIII, no 4, p. 611. Vienne, 1878.)

1878. P. Guyot. — Sur deux gisements de chaux phosphatée dans les *Vosges*. (C. R., t. LXXXVII, p. 333. Paris, 1878.)

1879-80. S. Kneeland. — The mineralized phosphatic guanos of the *equatorial pacific Islands*. (*Proceedings of the American academy of Arts of Boston*, t. XX, p. 235. Boston, 1879-80.)

1879. K. Martin. — Phosphoritische Kalke von der Westindischen Insel *Bonaire*. (*Zeitz. der D. geologischen Gesellschafts*, t. XXXI, p. 473. Berlin, 1879.)

Sally. — On apatite from Levant mine, *Cornwall*. (*Transactions of the Royal geological Society of Cornwall*, t. X, p. 240. Penzance.)

[1] Dans cette bibliographie générale, nous faisons rentrer tous les gîtes qui ne seront pas plus loin l'objet d'une description spéciale. Les noms de lieu ont été imprimés en italiques.

1879. Wickersheimer. — Note sur un gite de phosphate de chaux situé près de *Cette*. (*Ann. des M.*, 7e série, t. XVI, p. 283. Paris, 1879.)

1879. J. Brunfaut. — Des phosphates et des produits chimiques propres à l'agriculture. (In-8°, 102 pages. Paris, 1879.)

1879. Delesse, Chevreul, Chatin et Barral. — Sur quelques gîtes de phosphates exploités par l'agriculture. (*Bull. de la Soc. nat. d'agric. de France*, t. XXXIX, p. 58-59. Paris, 1879.)

1879. L. Meyn. — Das Phosphorit Lager von *Curaçao*. (*Zeits. der D. geolog. Gesellschaft*, t. XXXI, p. 697.)

* 1880. Nivoit. — De l'acide phosphorique dans les terrains de transition et dans le lias des *Ardennes*. (*B. S. G.*, t. VIII, p. 357.)

1881. Heusler. — Ueber ein Phosphorit vorkommen am *Steinrother Kopf*. (*Verhandlungen des Naturhistorichen Vereines*, 4e série, t. VIII, n° 1. Bonn, 1881.)

1881. Streng. — Ueber die Phosphate von *Waldgirmes*. (*Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Geologie und Paleontologie*, nos 1-2 du t. I de l'année 1881, p. 101. Stuttgart.)

1884. O'Reilly. — Notes on the Phosphorite nodules of *Podolia*. (*The scient. Proccedings of the royal Dublin Society*, t. IV, p. 215. Dublin.)

1884. E.-A. Smith. — Cretaceous phosphatic in *Alabama*. (*Science de Cambridge U. S. A.*, t. III, p. 586. Cambridge.)

1884. Dieulafait. — Origine de certains phosphates de chaux en amas dans les calcaires de la série secondaire et de certains minerais de fer appartenant à la division des minerais en grains. (C. R., t. XCVII, p. 841, Paris.)

1884. Dieulafait. — Origine et mode de formation des phosphates de chaux en amas dans les terrains sédimentaires. (C. R., t. XCIX, p. 813. Paris.)

1884. Delvaux. — Découverte de gisements de phosphate de chaux appartenant à l'étage yprésien dans le sous-sol de la ville de *Renaix* et dans celui de la région de Flobecq. (*Ann. Soc. geol. belge*, t. XI, p. 279. Liège, 1883-84.)

1884. Will-King. — Phosphatic rocks at *Musuri*. (*Records of the geol. survey of India*, vol. XVII, p. 192. Calcutta, 1884.)

P. Lévy. — Des phosphates de chaux. (*Ann. des sciences géolog.*, t. XX.)

1884. Jeanjean. — Notice géologique et agronomique sur les phosphates de chaux du département du *Gard*. (In-8° de 46 pages. Nimes, 1884.)

1885. Mallet. — Analyses of phosphatic nodules and Rocks from *Mussorce*. (*Records of the geological survey of India*, vol. XVIII, p. 126. Calcutta, 1885.)

Smith, Laurence et C. Johnson. — Phosphatic rocks of *Florida*. (*Science*, t. V, p. 395. Cambridge, Mass., U. S.)

Boursault. — Craie phosphatée des falaises de *Dieppe*. (*Le Naturaliste*, n° 60.)

1885. Grandeau. — Recherches sur les phosphates. (C. R., t. C, p. 1184. Paris, 1885.)

1886. Fleischer. — Die Entphosphorung des Eisens durch Thomas Process. (Paul Parrey, Berlin.) — Traduit par J. Risler pour les *Annales de la science agronomique*, 3e année, 1886, t. I.

* 1887. Statistique de l'industrie minérale en France en 1886.

* 1887. Percy et Gilchrist. — Emploi des scories basiques en agriculture. (Communication au *Iron and Steel Institute*.) — Traduit par Durassier dans le *Génie civil* du 6 août 1887.

1887. Grandeau. — Etudes agronomiques. (Hachette.)

1887. P. Wagner. — Die Thomasschlacke, ihre Bedentung und Anwendung als Dünge mittel. (Winter, Darmstadt.)

1887. Albert (H. et E.). — Berichte uber die Wirkungen des Thomas phosphat Mehls. (Biebrich.)

1887. P. Séjournet. — Phosphates métallurgiques des aciéries du Creusot. (Nancy.)

* 1887. Fuchs. — La constitution des gites de phosphate de chaux. (*Assoc. franç. pour l'avancement des sciences*, Congrès de Nancy.)

* 1887. Daubrée. — Eaux souterraines aux époques anciennes, p. 114, etc.

1888. Penrose. — Nature and origin of Deposits of Phosphate of lime.

Cornet. — Les gisements de phosphate de chaux de la craie de *Mezières*. (*Ann. de la Soc. géol. de Belgique*, t. XV, Liège.)

* 1888. The nature and origin of deposits of phosphate of lime (*Bull. of the U. S. géol. Suiv.*) Cet ouvrage contient une bibliographie détaillée.

* 1889. Exploitation des phosphates de chaux en France. (*Statist. de l'ind. Minér.*, p. 52.)

1889. Grandeau. — L'épuisement du sol et les récoltes. (*Petite Encycl. agricole*. Chez Hachette.)

1889. Notice sur les gisements de phosphate de chaux, par la Société d'agriculture de l'Indre.

1889. Stainier. — Etude géologique des gisements de phosphate de chaux du *Cambrésis*. (*Mém. Soc. géol. de Belg.*, t. XVI, p. 3. Liège, 1889.)

1889. Penrose. — Nature et origine du phosphate de chaux. (*Soc. géol. du Nord*, t. XVI. Lille, 1889.)

1889. Eugène Risler. — Carte géologique et statistique des gisements de phosphate de chaux exploités en France. (Paris, 1889.)

1889. Denys. — Phosphate de chaux dans la craie d'*Obourg*. (*Ann. de la Soc. géol. de Belgique*, t. XV. Liège.)

1889. Revaux. — Les gisements de phosphate de chaux. (*Bull. Ecole des Mines*, août 1889, p. 231.)

1889. Olry. — Le phosphate de chaux.

* 1891. Renard et Cornet. — Sur la nature et l'origine des phosphates de chaux de la craie. (*Soc. géol. du Nord*, 4 février 1891.)

* 1891. Wyatt. — The phosphates of *America*. (*New-York*.)

* 1892. Carnot. — Recherche du fluor dans les os modernes et fossiles et dans différentes variétés de phosphates naturels. (C. R., 2 *et* 23 *mai*; 25 *juillet* 1892.)

* 1892. Hubert. — Phosphates de chaux naturels. (Chez Baudry, éd.)

1892. Müntz. — Les phosphates dans l'agriculture française. (*R. d. Deux-M.*, 15 août.)

I. — GISEMENTS DE PHOSPHATE DE CHAUX DANS LES ROCHES.

CAP DE GATE (Espagne)

L'apatite est très fréquente, quoique peu abondante, dans les roches éruptives où elle se présente essentiellement comme un

minéral de première consolidation. On la trouve dans les roches les plus diverses, anciennes ou récentes, où le microscope a permis de reconnaître son existence. Presque toujours elle se présente à l'état d'inclusion dans d'autres minéraux, même dans le fer oxydulé, qui est cependant toujours un des premiers éléments formés. Elle a donc dû cristalliser dans le magma à très haute température, souvent en présence de silice en excès : ce qui est parfaitement d'accord avec les propriétés du phosphate de chaux, indécomposable par l'acide nitrique même à chaud. On peut, en outre, noter ce fait que les variétés vertes, comme celles du Canada et du Valais, contiennent des inclusions à deux liquides, eau et acide carbonique. Les roches les plus riches en apatite sont presque toujours aussi très riches en mica noir ou en amphibole. Parmi les premières, MM. Fouqué et Michel Lévy ont cité les Kersantites (Kersantons de Bretagne), les porphyrites micacées (minettes du Morvan), les andésites micacées ; parmi les secondes, les syénites et les andésites à amphibole (Cantal).

Dans toutes ces roches, l'apatite n'existe généralement qu'à l'état microscopique; nous citerons seulement pour mémoire certaines roches où elle forme des cristaux visibles à l'œil nu : les granites de Pargas, en Finlande, un grand nombre de granulites au voisinage de presque tous les filons d'étain (à la Villeder et à Montebras, en France, etc.), les gneiss du Zillerthal, en Bohême, etc. En un seul point, nous trouvons, dans une roche éruptive, un véritable gîte d'apatite; c'est au *cap de Gate*, à la pointe Sud-Est de l'Espagne, et notamment dans la petite colline de Jumilla, sur une étendue de 22 hectares.

Là, l'apatite forme de nombreux cristaux jaune de miel ou vert clair, irrégulièrement disséminés dans une pâte rouge trachytique.

La roche a une teneur en phosphate qui varie de 7 à 30 p. 100 et atteint, en moyenne, près de 15 p. 100. En outre, elle renferme jusqu'à 8 et 10 p. 100 de potasse, utile de son côté pour les cultures et sa décomposition à l'air est assez rapide pour que l'apatite puisse être isolée par criblage sans trop de frais. On a, dès lors, songé à l'employer comme amendement dans la plaine de Valence, de Murcie et surtout dans la Vega de Malaga où l'on a réussi à installer la culture de la canne à sucre.

APATITES DE NORVÈGE[1]

On peut rattacher aux gisements d'apatite en roche les filons très développés sur la côte Sud-Est de Norvège, entre Langesund et Arendal, où l'on trouve l'apatite associée à divers minéraux : amphibole, enstatite, mica noir, avec lesquels elle forme, non pas un filon concrétionné à la façon des filons métallifères, mais une sorte de roche filonienne.

Ces gisements, assez nombreux, ont été l'objet d'un mémoire important de MM. Reusch et Brögger, qui sont arrivés aux conclusions suivantes :

1° Toutes les venues d'apatite de cette région appartiennent à une même formation : soit que l'apatite entre dans une roche complexe, comme à Oddegarden (mica noir, amphibole, enstatite) ou à Ravneberg (mica noir, amphibole); soit qu'on la trouve seulement avec de l'amphibole, comme à Kragerö. A ces divers minéraux est associée souvent de la pyrrhotine (magnetkies) accessoire qui peut, à l'occasion, devenir le corps dominant. Le quartz et le feldspath font parfois complètement défaut comme à Oddegarden. D'autres fois, on trouve du feldspath (Valle) ou du quartz (Oestre Kjörrestad, Akeland, etc.), ou les deux à la fois (Melby). Ces divers minéraux présentent en général une cristallisation confuse, rarement des zones parallèles aux épontes.

2° Ces venues d'apatite sont filoniennes, contrairement à ce qui se passe pour nombre d'autres gisements où l'apatite, associée par exemple avec de l'amphibole, de la magnétite, etc., fait partie de couches interstratifiées dans la partie supérieure des gneiss.

3° L'apatite a cristallisé par voie ignée et est en relation intime avec le gabbro.

Parmi ces divers gisements comparables les uns aux autres,

[1] Coll. Ecole des Mines, 1509 et 1744.

nous nous contenterons d'en décrire un que nous avons eu l'occasion d'étudier sur place et qui est d'ailleurs le seul exploité industriellement avec une réelle activité ; c'est celui d'*Oddegarden*[1].

APATITES D'ODDEGARDEN (NORVÈGE)[2]

Les exploitations d'Oddegarden sont situées à Oddegarden[3] près Bamble, à 12 kilomètres du port de Langesund où l'on débarque pour s'y rendre. Les travaux y datent de 1871. Les concessions, tout d'abord très nombreuses par suite des dispositions de la loi norvégienne qui rattache la propriété des phosphates à celle du sol, sont aujourd'hui centralisées en deux contiguës, l'une appartenant à une Société française qui a occupé un moment jusqu'à 800 ouvriers et en emploie encore 500 avec une production annuelle de 5 000 tonnes, l'autre à un particulier qui occupe seulement une cinquantaine d'ouvriers. Les minerais d'Oddegarden, après triage, sont transportés par câble (3 kilomètres) à la côte et expédiés de là : les premières qualités (valant environ 200 francs) en Allemagne et un peu en Suède et Danemarck, les qualités inférieures (où il reste du mica, qui d'ailleurs ne joue qu'un rôle inerte dans le traitement à l'acide sulfurique), en Angleterre[4].

Constitution géologique de la région. — La région d'Oddegarden comprend des schistes et quartzites cambriens, des terrains siluriens et peut-être un peu de dévonien, près de Langesund. La route de Langesund à Oddegarden (de l'Ouest à l'Est) montre une coupe de ces étages successifs :

[1] Les roches de la région d'Oddegarden ont été l'objet d'une belle étude pétrographique et minéralogique de M. Lacroix, insérée dans sa thèse sur les roches à wernérite.

[2] Cette description a été faite d'après des notes prises sur place en 1890.

[3] Oddegarden Wœrk pr Brevig. Le nom d'Oddegarden vient du vieux Norvégien ut gaarden et signifie maison de campagne.

[4] Ces pyroxénites contiennent elles-mêmes, comme c'est généralement le cas pour les roches du même genre, des cristaux d'apatite microscopiques atteignant 1 millimètre (Lacroix, p. 402).

Au début, le silurien apparaît, plongeant vers l'Est, sous forme de schistes à amandes calcaires peu résistantes dont la dissolution superficielle y produit une multitude de trous lenticulaires. Un peu plus loin, à Tungevald, on entre dans des schistes micacés et amphiboliques à grenats appartenant à la partie supérieure de l'étage des gneiss, avec des amphibolites, des pyroxénites, des gneiss à wernérite[1] et des gneiss à cordiérite que traversent des porphyrites.

Enfin, à Oddegarden même, on trouve, recoupant ces gneiss, un massif éruptif d'environ 100 mètres de large et 800 mètres de long, dirigé à 60°, qui paraît avoir été constitué originairement de gabbro noir dont on voit quelques îlots subsistant de 10 à 20 mètres de diamètre, mais qui aujourd'hui se présente presque partout sous forme d'une roche très spéciale où M. Michel Lévy reconnut le premier, en 1878, la présence de la wernérite grenue et que les géologues norvégiens appellent gabbro à wernérite ou dipyrdiorite. La

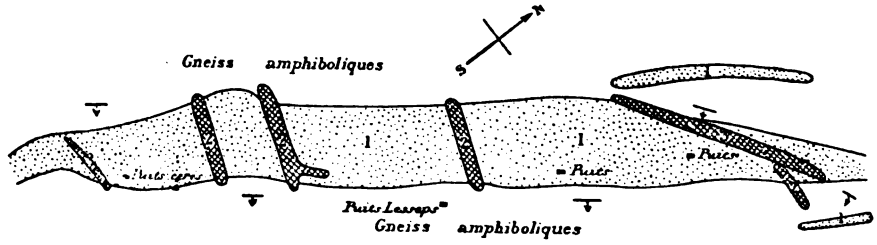


Fig. 47. — Carte des environs d'Oddegarden (d'après M. Lacroix).

1, gabbro traversé par les filons d'apatite et transformé en diorite à dipyre. — 2 et 3, granulite.

présence de l'apatite est en relation tellement intime avec celle de la wernérite que la direction de la mine s'est trouvée amenée, par une application assez rare des méthodes pétrographiques, à conduire ses recherches d'après les résultats de l'examen microscopique des roches encaissantes.

Cette apatite existe en très nombreux filons qui recoupent, dans la région, un grand nombre de roches diverses. A Oddegarden même, ces filons se trouvent surtout dans le gabbro qui apparaît

[1] M. Lacroix, qui a spécialement étudié ces gneiss à wernérite, les considère comme un produit de métamorphisme de cipolins probablement sous des actions granulitiques. (p. 33 et 183). Nous verrons que le gabbro, au voisinage de l'apatite, s'est chargé de wernérite sous une action minéralisatrice qui semble analogue.

toujours à leur contact, sur une épaisseur d'au moins 0m,50 à 2 mètres, transformé en dipyrdiorite, c'est-à-dire en gabbro où le plagioclase est remplacé par de la wernérite. On est dès lors conduit à admettre que la substitution de la wernérite au plagioclase[1] (c'est-à-dire d'un corps plus riche en chaux) s'est produite en même temps que la venue du phosphate de chaux. Cette idée, suggérée par le rapprochement que nous venons de signaler et qui existe encore plus net dans d'autres exploitations semblables situées au Nord de Kragerō, à Tœdestrand, a été confirmée par des études microscopiques de M. Brogger. Celui-ci a pu, en effet, en faisant tailler des plaques minces au contact des deux gabbros, surprendre le passage même du plagioclase à la wernérite. M. Lacroix (p. 172) a montré que le changement commençait par la transformation du pyroxène en amphibole; puis, dans le feldspath, se produisent des grains arrondis de dipyre qui, peu à peu, arrivent à constituer toute la masse.

Ajoutons de suite que M. Sjœgren a constaté, en outre, dans le dipyrdiorite, la présence d'une forte proportion d'apatite évaluée à 2 à 5 p. 100, qui différerait de l'apatite habituelle du gabbro et des amphibolites par sa forme, non en petits prismes inclus dans l'amphibole, mais en cristaux postérieurs et qui pourrait, peut-être, avoir été introduite au moment de la transformation.

En dehors du gabbro et du dipyrdiorite, on trouve aux environs immédiats d'Oddegarden, comme autres roches éruptives, de la granulite et de la porphyrite. La granulite, formée de grands cristaux de quartz et de feldspath et pauvre en mica blanc, constitue, au milieu du gabbro, cinq masses successives. Ici comme en beaucoup d'autres points[2], on peut constater que la venue de la granulite a dû se prolonger pendant un temps assez long, en sorte qu'on voit au moins trois systèmes de veines de cette roche se recoupant successivement avec rejets les uns les autres. On croit, dans la région de Kragerō, qu'il faut surtout chercher les filons d'apatite à proximité de la granulite : ce qui est conforme avec l'opinion qu'on

[1] La wernérite (corps quadratique) a pour rapports d'oxygène 1 : 2 : 3 à 1 : 2 : 6, le plagioclase (triclinique), 1 : 3 : 4 à 1 : 3 : 12. Nous venons de dire que le métamorphisme des calcaires cipolins donnait, suivant M. Lacroix, des gneiss à wernérite.

[2] Nous avons eu l'occasion de vérifier ce fait récemment de la manière la plus nette au cap de la Hague (Manche) et au fond du Geirangerfiord en Norvège.

peut se faire presque partout ailleurs, par exemple au Canada. La porphyrite recoupe toutes les autres roches du pays. Auprès de Langesund, on en voit des filons dans le silurien. L'ordre de succession des roches semble donc être en résumé : schistes et amphibolites, gabbro, granulite, porphyrite postsilurienne.

FILONS D'APATITE

A. **Allure de la cassure.** — Les filons d'apatite exploités à Oddegarden présentent plusieurs directions diverses ; leur inclinaison est très variable et leur épaisseur peut aller depuis un millimètre jusqu'à 3 mètres. Ceux qu'on exploite ont, en général, de 20 à 25 centimètres ; mais on en a trouvé cinq jusqu'ici qui dépassaient 1 mètre. Les variations d'épaisseur, tant en direction qu'en inclinaison, sont constantes ; après un renflement de 3 mètres d'épaisseur qui se sera prolongé (au maximum) sur 40 mètres de large et 40 mètres de long, on n'aura plus que l'épaisseur d'un joint, parfois même sans apatite.

Au point de vue de l'inclinaison, on rencontre, depuis des filons verticaux jusqu'à des filons presque horizontaux ou plats.

B. **Remplissage des filons.** — Le remplissage des filons d'apatite comprend, cristallisés en désordre et sans succession déterminable : apatite, hornblende, enstatite et mica noir à grands cristaux ; le seul fait presque constant, c'est l'existence, aux épontes, de deux zones de mica noir, toujours à petits feuillets. Ces épontes sont toujours fort nettes et présentent le plus souvent des salbandes ; rarement il existe, sur quelques centimètres le long du filon, une sorte de passage progressif, de fusion avec la roche ; on n'a jamais rien rencontré qui ressemble à une concrétion ou à une druse.

En somme, ces filons sont comparables beaucoup plutôt à des filons de roche éruptive où l'apatite[1] jouerait le même rôle qu'ail-

[1] Cependant il arrive que les minéraux affectent un certain ordre dans la cristallisation, le mica se trouvant aux épontes, l'apatite au centre.

leurs le feldspath ou le quartz qu'à des filons de minerais concrétionnés.

En moyenne, on peut compter, dans les parties exploitées, sur 50 p. 100 de mica, 40 p. 100 d'apatite et le reste en enstatite et hornblende; mais on a trouvé exceptionnellement des masses d'apatite pure ou, par contre, des parties absolument stériles. La rencontre de deux filons, l'un plat, l'autre vertical, produit habituellement un enrichissement en apatite. On croit avoir constaté en profondeur une légère augmentation de la proportion de mica.

Comme minéraux exceptionnels, on trouve de la wagnérite assez abondante avec de la monazite, des pyrites de fer et de cuivre, du fer titané; le fer titané est même assez fréquent tout autour de la mine. Le quartz n'existe pour ainsi dire pas dans les filons exploités; mais la région renferme d'autres filons où l'apatite est associée au quartz.

C. **Intersection et âge relatif des filons d'apatite.** — Pour arriver à une notion d'âge sur la venue d'apatite, nous avons étudié attentivement les intersections des filons, soit entre eux, soit avec d'autres roches.

En résumé, l'étude des divers cas rapprochés les uns des autres conduit à admettre l'existence de deux systèmes de filons, les uns plats, plongeant de 30° environ sur l'horizontale, parallèles à la direction générale du massif de gabbro, c'est-à-dire à 60° et presque toujours les plus épais; les autres, presque verticaux, souvent perpendiculaires à la direction du gabbro, mais occupant également beaucoup de directions intermédiaires; ces filons verticaux semblent être antérieurs aux horizontaux. Il est d'ailleurs évident que ces deux venues se sont suivies de très près, comme le montre l'étude des intersections de l'apatite avec les roches.

Nous avons dit que l'apatite recoupait le gabbro, transformé à son contact en gabbro à wernérite. Sa relation d'âge avec la granulite est beaucoup moins nette.

En principe, on peut dire que les apatites viennent s'arrêter aux trois massifs principaux de granulite qui traversent le gabbro. Cependant nous avons pu voir des veines d'apatite recouper inver-

sement la granulite[1] ou des pegmatites croiser l'apatite. Il convient peut-être de rapprocher ce fait de ce que nous disions plus haut de l'arrivée de la granulite en plusieurs phases successives ; l'apatite aurait alors accompagné tantôt l'une, tantôt l'autre de ces phases et, quoique d'âge à peu près contemporain, tantôt recouperait ici,

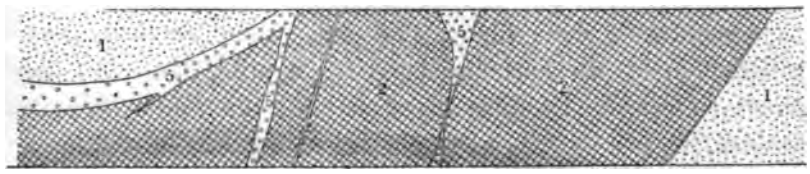


Fig. 48. — Coupe d'une galerie de mine à Oddegarden.
1, gabbro transformé en diorite à dipyre. — 1', gabbro. — 2, granulite. — 5, apatite.

tantôt serait recoupée là. Des phénomènes de ce genre ne doivent pas être considérés comme s'étant produits à une heure déterminée du temps, mais comme s'étant prolongés avec une intensité variable pendant de longues périodes, et il n'est pas surprenant qu'il en résulte dans le détail quelque complication.

Quant à la porphyrite, elle semble à peu près partout postérieure à l'apatite[2]. En un seul point, à l'Est du massif de gabbro d'Oddegarden, nous avons vu nettement, au milieu d'une porphyrite traversant elle-même la granulite et près de son contact avec la granulite, une veine assez grosse d'apatite avec quartz. La pré-

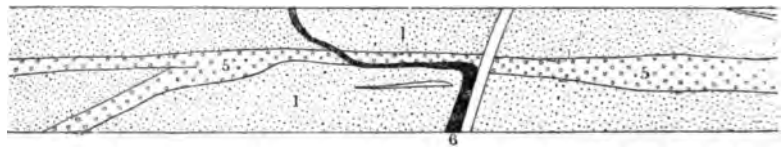


Fig. 49. — Coupe d'une galerie de mine à Oddegarden d'après M. Lacroix.
1, gabbro. — 2, granulite. — 5, apatite. Un filon de porphyrite 6 est marqué en noir; il longe, en partie, une faille à remplissage calcaire.

sence anormale du quartz qui n'existe jamais dans les autres filons d'Oddegarden pourrait porter à penser qu'il y a là non pas un

[1] Voir fig. 48.
[2] Voir fig. 49.

filon originel, mais un remplissage secondaire par des eaux ayant dissous, à la faveur de l'acide carbonique de l'air, l'apatite des filons voisins.

Enfin un dernier élément qui peut nous aider à connaître l'âge des apatites, c'est l'existence, dans la mine, de quelques failles postérieures à elles.

L'une de ces failles, la principale, dirigée Nord-Sud, a un remplissage argileux de $0^m,10$ à $0^m,20$ de large et a produit un rejet de 3 mètres prouvé par la présence, des deux côtés de la faille, du plus gros filon d'Oddegarden, filon plat ayant 3 mètres de large. Cette faille est incontestablement postérieure à l'apatite. D'autre part, on trouve à son toit un filon de porphyrite de $0^m,15$ de large, qui est venu après la faille, car il lance en divers points des ramifications dans son remplissage[1]. Ce fait prouve bien, comme nous l'annoncions plus haut, que la porphyrite est postérieure à l'apatite. Ailleurs on trouve, à côté de cette faille, au toit du filon plat d'apatite, une sorte de filon de masses ovoïdes recouvertes de biotite et ordinairement composées de hornblende, biotite, dipyre, apatite, enstatite, ilménite, rutile.

Bibliographie des apatites de Norvège (Oddegarden, Kragerö, Buoë, etc.)

Mai 1874. Helland. — Apatit forekomster. (*Geolog. foreningens i Stockholm.*)

* 1875. Brogger und Reusch. — Vorkommen des Apatit in Norvegen. (*Deutsche Geologische Gesellschaft*, 1875, p. 646. Cet article mentionne quelques ouvrages antérieurs.)

* 1878. Michel Lévy. — Sur la roche à Wernérite de Bamle. (*Bull. Soc. Min.*, 1878, p. 43 et 79.)

* 1883. Sjœgren. — Apatites de la côte d'Arendal. (*Geologiske foreningens de Stockholm*, avril 1883, n° 81, p. 447 ; 1884, n° 87, p. 177 (discussion).

Vogt. — Norske erst forekomster. (*Archiv. f. matemathik og Naturvidenkat*, à Christiania chez Alb. Cammermegar.)

1887. Lacroix. — C. R., t. CIV, p. 1011. (Dipyre de Saint-Nazaire.)

1888. Davies. — Earthy and other minerals, p. 119.

1888. Penrose. — Phosphate of lime, p. 42

[1] Voir Lacroix, fig. 99.

* 1889. Lacroix. — Contribution à l'étude des gneiss à pyroxène et des roches à wernérite. (*Soc. de Min.*, avril 1889.)

1890. Lundbohm. — Apatit foreskomter i Gellivare Malmberg. (De l'apatite dans les gisements de fer de Gellivara.) — (Stockholm.)

Août 1890. L. de Launay. — Notes de voyage inédites.

APATITES DU CANADA[1]

Disposition générale des gisements. — L'apatite se trouve en masses importantes au Canada[2] : 1° dans le comté d'Ottawa, province de Québec; 2° dans la région située au Nord-Est du lac Ontario (province d'Ontario). L'extraction qui était, en 1880, de 8 000 tonnes, a dépassé 30 000 et constitue aujourd'hui une des richesses du pays. Ces phosphates doivent leur réputation à leur haute teneur dont la constance permet de passer des marchés sur la base de 80 p. 100.

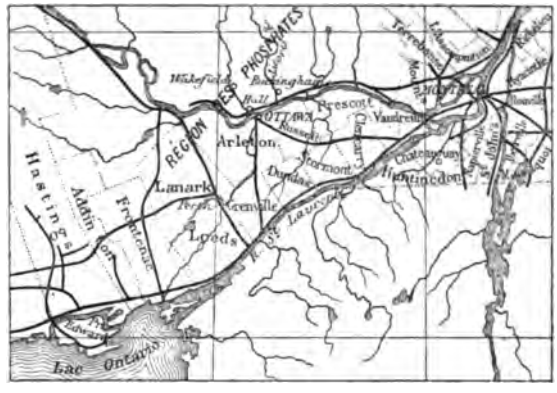


Fig. 50. — Carte de la région des phosphates au Canada.

Les gisements existent dans les terrains métamorphiques dits laurentiens inférieurs, qui constituent la chaîne des Laurentides, au Nord des fleuves Saint-Laurent et Ottawa : terrains formant la base de roches éozoïques encore imparfaitement étudiées,

[1] Coll. École des Mines, 1851.
[2] Voir fig. 50.

qui ont donné lieu à la conception de « l'eozoon canadense » du docteur Dawson.

Les apatites, contrairement à ce que nous avons vu en Norvège, sembleraient, d'après les descriptions, se trouver là en lentilles au milieu de pyroxénites associées à des cipolins. M. Lacroix a signalé, dans ces pyroxénites, la présence de la wernérite. On y connaît, en outre, la calcite, la fluorine, le quartz, la hornblende, le graphite, etc. Parfois les cristaux d'apatite sont englobés dans du calcaire cristallisé. Le gisement est très irrégulier.

M. Obalski, se fondant sur ce que ces apatites, comme celles qui ont subi une fusion, ne sont pas phosphorescentes, a exprimé l'opinion qu'elles étaient antérieures au métamorphisme qui a donné aux terrains leur aspect actuel et que leur concentration résultait d'une remise en mouvement des éléments sous cette influence minéralisante.

MM. Reusch et Brögger ont, d'autre part, d'après les descriptions de Sterry Hunt, considéré ces apatites comme filoniennes et indépendantes des roches encaissantes.

Nature du minerai. — Le minerai se présente habituellement en masses cristallines ou sous forme de sable, ou encore en cristaux hexagonaux pyramidés bien définis, dont quelques-uns atteignent des dimensions remarquables (cristal de 400 kilogrammes au musée d'Ottawa).

La couleur du minerai est ou rouge ou verte, allant du vert très foncé au vert très clair, presque blanc, la couleur habituelle étant le vert émeraude intermédiaire.

Le minerai n'est jamais phosphorescent.

Il existe à l'état presque pur, sa haute teneur n'étant abaissée que par le mélange accidentel de matières étrangères (mica, carbonate de chaux, pyroxène, etc.).

Au point de vue industriel, on le recherche pour la fabrication des superphosphates à cause de l'absence de fer et d'alumine et de sa haute teneur (85 à 99 p. 100) de phosphate. La seule impureté fréquente est le fluorure de calcium.

Composition du minerai. — Les analyses suivantes I, II, III, IV

sont dues à M. Hoffmann (Ottawa); les V et VI sont des analyses commerciales faites sur des chargements envoyés en Angleterre[1].

	I	II	III	IV	V	VI
Couleur du minerai.	Rouge	Vert	Rouge	Vert pâle	»	»
Humidité	»	»	»	»	0,10	0,10
Eau de combinaison	»	»	»	»	0,50	0,15
Acide phosphorique	39,40	41,139	40,868	40,812	37,60	36,65
Fluor.	3,791	3,865	3,731	3,554	»	»
Chlore	0,476	0,229	0,428	0,040	»	»
Acide carbonique	0,096	0,223	0,105	0,518	0,60	1,50
Chaux.	46,327	49,335	48,475	49,102	51,52	50,96
Calcium.	4,258	4,195	4,168	3,763	»	»
Magnésie[1].	0,548	0,180	0,158	0,620	5,18	4,09
Alumine.	1,190	0,566	0,825	0,505	1,50	1,40
Sesquioxyde de fer.	1,290	0,094	0,905	0,125		
Résidu insoluble.	3,490	0,060	1,150	0,630	3,00	5,15
Total	100,512	99,884	100,823	99,729	100,00	10,000
Soit :						
Phosphate tribasique de chaux.	85,241	89,810	89,219	89,098	82,10	80,01
Fluorure de calcium	7,784	7,929	7,658	7,295	»	»
Chlorure de calcium	0,744	0,358	0,669	0,062	»	»
Carbonate de chaux	»	»	»	»	1,36	3,40

D'autres analyses permettent de comparer la valeur des apatites de Norvège et de celles du Canada :

APATITES DE NORVÈGE (KRAGERÖ ET ARENDAL)

	APATITE ROSE	APATITE BLANCHE
Eau hygroscopique	0,43	0,19 à 0,30
Eau de constitution	0,40	0,23 à 0,20
Acide phosphorique	41,88 à 41,74	41,25 à 42,28
Chaux	53,45 à 54,12	56,62 à 53,35
Chlorure de calcium.	1,61	0,41 à 2,16
Fer et alumine	1,66 à 0,45	0,39 à 0,92
Parties insolubles	1,24 à 0,97	0,82 à 0,99
Alcalis.	0,10	0,17
Magnésie	0,20	0,29

[1] Dans le chiffre de la magnésie des analyses V et VI sont compris les corps non déterminés.

APATITES DU CANADA

	MOON LIGHT	RED RIVER	AUNE
Acide phosphorique	41,58	39,90	40,80
Chaux	53,92	54,80	52,37
Oxyde de fer	2,31	3,15	2,95
Alumine	1,05	1,14	1,80
Magnésie	0,60	0,18	0,55
Acide carbonique	0,15	0,37	0,82
Eau	0,08	0,13	0,11
Insolubles et pertes	0,31	0,33	0,60
	100,00	100,00	100,00

Énumération des gîtes. — On exploite des apatites au Canada : 1° dans la province de Québec, comté d'Ottawa, district de Buckingham, Templeton, Hull, Portland, Wakefield, Denholm, etc. Les minerais extraits sont conduits par eau sur les rivières du Lièvre et l'Ottawa à Montréal, d'où on les transporte comme lest en Europe ;

2° Dans la province d'Ontario, comtés de Kinsington et de Perth, d'où ils vont, soit par chemin de fer, soit par le Saint-Laurent, à Montréal.

Les principales mines sont :

Sur la rivière du Lièvre.
- *Emerald Mine.* (Buckingham). — Gisement régulier de 10 à 15 mètres de puissance. Exploitation à ciel ouvert ; annuellement 5 000 tonnes.
- *Little Rapid Mine.* — Veine régulière de 4 mètres. Puits de 60 mètres. Production annuelle : 1 000 tonnes.
- *North Star Mine.* — Veine de 3 à 5 mètres de puissance, régulière à 90 mètres de profondeur. Production : 4 000 tonnes.
- *Union phosphate Mining.* — Ciel ouvert ; production : 4 500 tonnes.
- *Phosphate of Lime.* — Ciel ouvert ; 6 000 tonnes.

Dans Templeton
- *Blakburn, Jackson, Canada Industrial, C°.*
- *Templeton and Blanche River Phosphate C°.*

Généralement on se contente de faire des tranchées aux points où le phosphore apparaît. (L'une d'elles, dans le canton de Tem-

pleton, a donné 10 000 tonnes de minerai.) Le puits le plus profond ne dépasse pas 70 mètres.

Production. — La production générale de phosphates au Canada a été, depuis l'origine de cette industrie :

Avant 1878 . .	3 000 tonnes.	Année 1883 . .	17 000 tonnes.
Année 1878 . .	4 000 —	— 1884 . .	22 000 —
— 1879 . .	5 000 —	— 1885 . .	25 000 —
— 1880 . .	8 000 —	— 1888 . .	19 000 —
— 1881 . .	15 000 —	— 1889 . .	28 000 —
— 1882 . .	16 000		

Jusqu'en 1885, le total était de 115 000 tonnes, qui, au point de vue de la production par canton, se subdivisaient ainsi :

Hull	3 000 tonnes.
Wakefield.	6 000 —
Templeton	18 000 —
Buckingham	28 000 —
Portland.	60 000 —
	115 000 tonnes.

En 1889, une dizaine de mines ont produit de 28 à 30 000 tonnes de minerai avec un bénéfice moyen estimé à 50 francs par tonne.

Renseignements économiques. — Voici un exemple du prix de revient de la tonne de phosphate au Canada :

	fr.	fr.
Extraction (moyenne avantageuse)	25,00 à	40,00
Transport de la mine au quai pour une distance de 1 500 à 7 000 mètres	1,00 à	6,00
Transport par la rivière pour des distances de 16 à 36 kilomètres	1,70 à	3,40
Manutention à Buckingham	0,50	
Transport par le chemin de fer de Buckingham à Montréal	6,80	
Manutention à Montréal	1,70	
Commission pour vente	2,60	
Total	39,30 à	61,00

La main-d'œuvre coûte environ les prix suivants :

Ouvriers divers	80 à 130 francs par mois.
Enfants	30 à 52 — —
En plus de la pension qui est estimée	52 francs.

ı, pour le travail à la journée :

Manœuvres	4 à 5 francs.
Mineurs ordinaires	5 à 6 —
Contremaîtres et ouvriers spéciaux, forgerons, machinistes	6 à 10 —
Attelage de 2 chevaux et conducteurs	15 francs.

La formule de vente en Angleterre est $P = (T + t)(V + t\,v)$: étant le prix de la tonne; T la teneur minima; t le nombre unités au-dessus de la teneur minima; v l'augmentation sur prix de l'unité V par unité en plus de la teneur minima.

Bibliographie des phosphates du Canada.

1866. Sterry Hunt. — Exploration géologique du Canada.

1873-74. Vennor. — Revue géologique d'Ottawa.

1876-77. Id. id. id. (avec cartes).

1877-78. Harrington. — Revue géologique d'Ottawa.

1879. Harrington. — On the minerals of some of the Apatite bearing veins Ottawa County. (Montreal.)

1882. Mackintosh. — The mineral ressources of Canada.

1884. Torrance. — Apatite deposits of Ottawa County. (Québec.)

1884. Adams. — On the occurrence of the norvegian « Apatitbringer » in *nada* with a few notes on the microscopic characters of some laurentian nphibolites. (*Report of the fifty fourth meeting of the british Association for the lvancement of Science* (Montréal), 1884, p. 717.)

1884. Brown. — The Apatite deposits of the Province of *Québec*. (*Report of fifty fourth meeting of the british Association for the Advancement of Science* ontréal), 1884, p. 719.)

1885. Menitt. — Economic minerals of Canada.

' 1885. Obalski. — (*Bull. de l'Ecole des Mines*, mai 1883-85, p. 116 et 138.)

1885. Kinahan. — Notes on the Apatite of Buckingham *Ottawa County*. *of the r. yeol. Soc. of Ireland*, nouv. série, t. VII, p. 1. Edimburg, 1885) *e scientific proceedings of the royal Dublin Society*, t. IV, p. 347. Dublin, 85.)

Sterry Hunt. The Apatite deposits of *Canada*. (*The canadian record Science*, vol. I, p. 65. Montréal.)

1886. Sterry Hunt. — Apatite deposits in Laurentian rocks. (*Amer. Asso- ıtion for the Advancement of Science, 34e meeting*, p. 199. New-York, 1886.)

' 1888. Penrose. - - Phosphate of lime, p. 21.

' 1889. Obalski. — Rapport sur la province de Québec.

1889. Adams et Lawson. — Canadian report of science. (Cf. Lacroix, p. 96.)

' 1889. Ladureau. — (*Nature* du 13 déc. 1890.)

' 1891. Wyatt. — The phosphates of America, p. 27.

II. — GITES FILONIENS ET AMAS DE PHOSPHORITE

Les gîtes filoniens de phosphate de chaux sont assez abondants. Ils se divisent nettement en deux classes distinctes, suivant que les roches encaissantes, traversées par ces filons, sont ou non perméables et susceptibles d'être attaquées par les eaux thermales chargées d'un excès d'acide carbonique qui favorise la dissolution des phosphates et provoque, au contraire, leur précipitation par son dégagement ou son action sur les carbonates calcaires.

Les deux types de filons ont un caractère commun, la présence simultanée du quartz et du phosphate de chaux dans le remplissage, l'importance du quartz allant toujours, et sans exception connue, en augmentant avec la profondeur, si bien que les filons présentent leur maximum de richesse dans le voisinage des affleurements.

Dans les filons à épontes imperméables, cet appauvrissement est graduel et paraît d'autant plus rapide que la fissure est plus étroite. Dans les filons qui ont traversé des roches perméables ou solubles dans l'acide carbonique, c'est-à-dire dans les roches calcaires, les phénomènes sont plus complexes, les eaux filoniennes acides ayant plus ou moins dissous ces calcaires et y ayant creusé des excavations irrégulières, des *poches*, dont le remplissage a reçu le nom d'*amas*.

Des gîtes d'allure analogue, que nous rapprocherons, pour la description, des amas filoniens, semblent en outre s'être développés : soit par l'accumulation des phosphates sédimentaires dans des excavations creusées d'en haut sous l'action des eaux superficielles; soit simplement par la concentration des éléments phos-

phatés provenant de la dissolution des calcaires corrodés par ces eaux.

Ces diverses poches se sont naturellement formées aux points où la corrosion était la plus facile, c'est-à-dire, en particulier, là où la roche calcaire était affectée de fissures provenant de dislocations antérieures, ou encore au contact des couches calcaires et des couches schisteuses, redressées les unes et les autres par un plissement antérieur à l'ouverture de la fracture suivie par les eaux. La surface de séparation est, dans ce cas, une surface de moindre résistance, le long de laquelle les filons présentent toujours des épanouissements irréguliers, transversaux à la direction de la fracture et à la masse principale du filon.

Les phénomènes de dissolution hydrothermale des calcaires paraissent en outre avoir été généralement liés au voisinage de la surface. Il s'ensuit qu'ils perdent rapidement leur intensité à mesure que l'on s'enfonce et qu'ils disparaissent complètement à une certaine profondeur. Les poches filoniennes, aussi bien que les excavations superficielles, sont donc toujours limitées et leur remplissage est extrêmement complexe. Tantôt le phosphate s'est concentré à l'état cristallin autour de petits grains de matière insoluble formant noyaux et a constitué des rognons de toute dimension; tantôt il s'est précipité sur la paroi de l'excavation, comme un enduit dont les feuillets successifs, correspondant aux différentes phases du phénomène, affectent la structure zonée ou agatisée et qui, se détachant accidentellement de la paroi qui continuait à se corroder, retombe alors parfois, à l'état fragmentaire, dans l'intérieur de la poche.

Enfin, cette poche renferme encore tous les petits grains de phosphate et de quartz provenant de la précipitation individuelle de ces corps, et tous les résidus de la dissolution des calcaires, c'est-à-dire la silice, l'argile et l'oxyde de fer. Ces résidus empâtent les fragments phosphatés et prennent une importance croissante avec la profondeur. Le remplissage des poches va donc, comme celui des filons, en s'appauvrissant à mesure que l'on s'enfonce et le mélange que nous venons de décrire, connu sous le nom de *terre phosphatée*, y prend au contraire une importance croissante.

Les régions dans lesquelles ces divers phénomènes se sont produits sont assez nombreuses, mais nous ne mentionnerons ici que les filons types de l'Estramadure et les amas classiques du Quercy dans le midi de la France [1].

FILONS DE PHOSPHORITE DE L'ESTRAMADURE

ZARZA LA MAJOR, LOGROSAN, CACÉRÈS, ETC.

Il existe, dans le Sud de l'Espagne, une grande zone de filons phosphatés qui se poursuit en Portugal dans l'Alemtejo et dont le développement total n'atteint pas moins de 120 kilomètres de longueur sur 60 de largeur [2]. Ces filons se trouvent dans les roches les plus diverses : dans le granite, aux environs de Portalègre et de Marvao en Portugal, ainsi qu'à Zarza la Major et Ceclavin (Espagne) ; dans les schistes cambriens à Logrosan ; ailleurs, comme à Cacérès, dans le calcaire dévonien.

Dans chacun de ces groupes de roches, les filons présentent une allure différente en relation avec les idées générales que nous énoncions tout à l'heure, plus nette et plus verticale dans le granite, plus confuse et divisée en veines multiples dans les schistes, accompagnée de grands amas dans le calcaire. Il en résulte qu'au point de vue industriel, ce sont les filons dans le calcaire, en particulier ceux de Cacérès, qui ont la plus grande importance ; mais les filons dans le granite ont un haut intérêt théorique en ce qu'ils prouvent nettement l'origine hydrothermale et profonde du phosphate dans cette région.

Ces filons dans le granite, qu'on peut étudier à *Zarzala Major*, se dirigent sur une longueur de plusieurs kilomètres avec des sinuo-

[1] Ces amas, ainsi que tous les autres semblables, étaient considérés par M. Fuchs comme nettement filoniens. Nous exposerons plus loin une hypothèse différente : quelle que soit d'ailleurs la théorie adoptée au sujet des phosphorites du Quercy, elles nous semblent, par leur allure et leur structure minéralogique aussi bien que par leur valeur industrielle, devoir être séparées des phosphates sédimentaires.

[2] Ces filons, indiqués par Leplay en 1834, ont été, dès 1845, décrits par le Dr Daubeny et le cap. Widdrington.

sités, suivant la direction moyenne NE-SO. Leur épaisseur varie beaucoup, tant dans le sens horizontal que dans celui de la profondeur; un même filon passe de quelques centimètres à 3 mètres. La phosphorite, comme dans le Quercy, est associée de la manière la plus intime à du quartz et quelquefois les deux substances sont disposées par zones parallèles. Au contact, le granite est ordinairement altéré.

Comme type de filons dans les schistes, nous étudierons ceux de *Logrosan :*

Gîte de Logrosan. — Le gîte de *Logrosan* est constitué par quatre filons grossièrement parallèles dans leur ensemble et recoupant

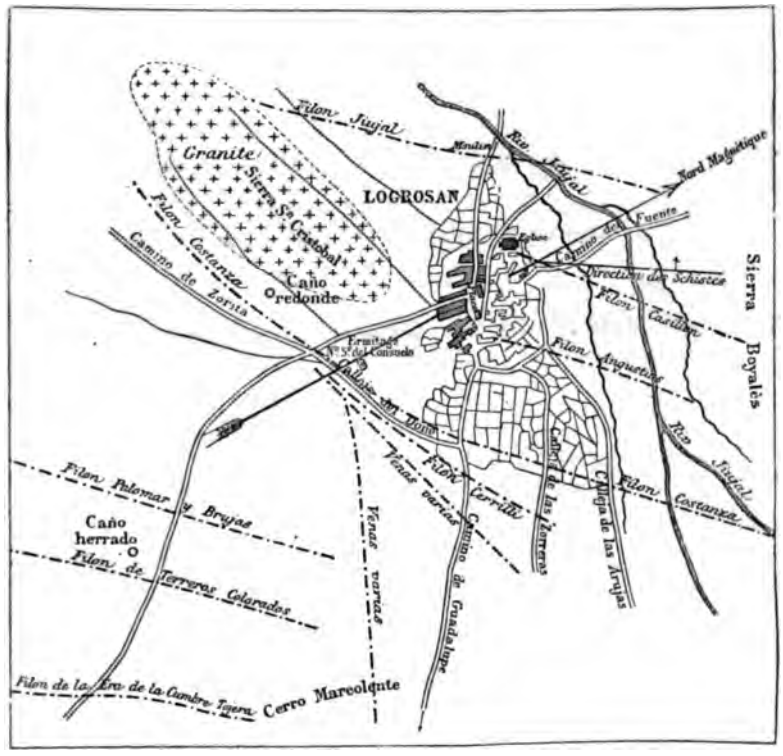


Fig. 51. — Carte des filons de phosphorite de Logrosan.

un terrain formé de schistes amphiboliques redressés par le massif de granite ancien qui forme la colline de San-Cristobal. Les

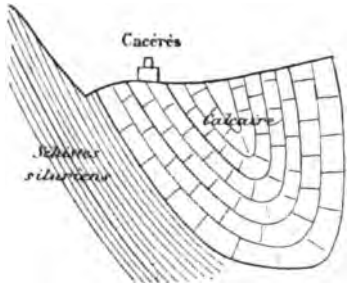
filons pénètrent dans ce granite, mais s'y amincissent rapidement et leur remplissage y devient entièrement quartzeux. Dans le voisinage du contact entre le granite et les schistes, ces derniers, dont le fendillement était extrême, se sont imprégnés sur une certaine largeur de chaque côté des fractures filoniennes, si bien que leur teneur en phosphate s'élève parfois jusqu'à 10 p. 100.

Les filons sont orientés, en moyenne, au Nord-Est. L'un d'eux, celui de la Costanza, a seul été utilisé industriellement. Son remplissage présente une structure zonée, alternativement composée de lamelles cristallines de phosphorite et de petits cristaux de quartz; ces derniers vont en augmentant avec la profondeur, si bien qu'à 30 mètres à peine de la surface, la teneur moyenne, qui était supérieure à 65 p. 100 aux affleurements, est descendue au-dessous de 50 p. 100 : ce qui rend toute la partie profonde du gîte provisoirement inexploitable.

Ce filon de la Costanza a été suivi sur environ 6 kilomètres de long et reconnu exploitable sur 1 kilomètre; sa puissance variait de 2 à 11 mètres.

Après en avoir extrait environ 20 000 tonnes, on a dû l'abandonner.

Gite de Cacérès [1]. — Enfin, à *Cacérès*, nous avons affaire à des



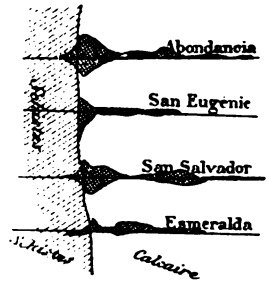


Fig. 52.

Coupe verticale théorique de la région de Cacérès.

Plan théorique des filons de Cacérès.

amas au contact du calcaire : amas importants et qui étaient encore, il y a quelques années, l'objet d'une active exploitation.

[1] Coll. Ecole des Mines, 1678.

Le gîte de *Cacérès* se compose de 4 filons principaux recoupant un système de schistes argilo-micacés surmontés par un calcaire légèrement cristallin, azoïque, qui paraît former une cuvette fermée au milieu du système schisteux et que les géologues espagnols considèrent comme dévonien. Les filons (Esmeralda, San-Salvador, San-Eugenio et Abundancia) sont orientés au Nord-Est comme ceux de Logrosan et leur remplissage est également formé de phosphorite très cristalline, passant parfois à l'apatite dans les géodes, et de quartz qui, comme toujours, va en augmentant avec la profondeur.

Ces filons présentent au plus haut degré les phénomènes d'élargissement accidentel et d'épanouissement le long de la surface des schistes dus à la dissolution des calcaires dans les eaux filoniennes. Grâce à ces épanouissements, l'appauvrissement en acide phosphorique a été beaucoup moins sensible qu'à Logrosan, en même temps que la puissance des gîtes a mieux persisté dans la profondeur. L'exploitation est descendue jusqu'à 105 mètres de la surface dans le filon de San-Salvador, sans avoir constaté de diminution notable dans la section de l'épanouissement de contact, et les profondeurs similaires ont été atteintes à Esmeralda et à San-Eugenio. Ce gîte a été exploité activement pendant une dizaine d'années et a fourni plus de 300 000 tonnes de phosphate à teneur élevée.

Sa production a été un moment :

1865	128 000	tonnes.
1866	93 040	—
1867	21 328	—
1868	39 505	—
1869	180 000	—

Mais on s'est heurté à des difficultés d'épuisement considérables, le calcaire perméable formant au milieu des schistes imperméables un drainage de toutes les pluies, en sorte qu'on était arrivé à extraire en poids près de cinquante fois plus d'eau que de phosphate. Aujourd'hui cette mine est à peu près complètement délaissée.

Comme autre type espagnol de gisement dans le calcaire, nous

nous contenterons de mentionner *Belmès* [1] où, d'après M. Daubrée, du phosphate s'est entièrement substitué à du calcaire carbonifère en conservant très nettement les empreintes des encrines : ce qui prouve bien une fois de plus sa venue à l'état de dissolution.

Un fait curieux a été mentionné par MM. Egozcue et Mallada. Dans la même région il existe, dans la Sierra de Béjar, aux bains de Montemayor, des sources sulfureuses au milieu du granite dont l'une, d'une température de 42°, contenait, dans le résidu de son évaporation, 9, 7 p. 100 d'acide phosphorique [2].

Bibliographie des phosphates de l'Estramadure.

1834. (*Q. J. g. Soc. London*, t. I, p. 52 ; *Ann. d. M.*, t. V, p. 175.)

1845. Daubeny and Widdington. — Occurrence of phosphorite in *Estramadure.*

1860. Neranjo y Garza et Lino Penuelas. — Sur la phosphorite de Logrosan (Estramadure). (*B. S. G.*, 2e, t. XVII, p. 157.)

1876. Egoziue et Mallada. — Provincia de *Caceres*. Madrid. (Voir un résumé dans la *Revue de géologie; Ann. d. M.*, 7e, t. XIII, p. 250.)

1877. Delerse. — Chaux phosphatée de l'*Estramadure.*

* 1878. Badoureau. — Chaux phosphatée de l'*Estramadure*. (*Soc. cent. d'agriculture*, t. XXXVIII, p. 80.)

1878. Calderon. — Fosforitas de *Belmes*. (*Ann. Soc. Esp. Hist. Nat.* t. VI; *B. S. G.*, t. VII, p. 11.)

* 1879. Calderon. — Fosforitas en el mediodia de España. (*Boletin del mapa geol.*, t. VI.)

1879. Petermann. — Note sur la phosphorite de *Caceres*. (*Ann. de la Soc. de Belgique*, t. VI. Liège, 1878-79.)

* 1887. Daubrée. — Eaux souterraines, p. 116.

1888. Davies, p. 142.

1888. Penrose. — Phosphate of lime 53.

PHOSPHORITES DU QUERCY [3]

Historique et situation géographique. — Le type le plus important des gîtes de phosphate en poches ou en amas se trouve dans

[1] Coll. Ecole des Mines, 1678.

[2] L'acide phosphorique existe également dans les eaux de la Bourboule, Vichy, etc.

[3] Coll. École des Mines, 1854.

la région qui est désignée sous le nom de Quercy et qui est située aux confins des départements du Lot, du Tarn-et-Garonne et du Lot-et-Garonne et principalement dans le voisinage des deux petites villes de Caylus et de Saint-Antonin.

Le phosphate de chaux y a été découvert en 1869, près de la ferme de Pendaré, dans le Tarn-et-Garonne, par M. Poumarède. Le minéral, jusqu'alors méconnu, se trouvait en blocs épars à la surface des champs et avait servi, confondu avec les matériaux calcaires, à construire les murs et les maisons du voisinage.

Dès que la valeur de la nouvelle roche fut connue, les recherches se multiplièrent au voisinage et firent trouver des gîtes analogues sur une surface de près de 2 000 kilomètres carrés.

Le sol du Quercy est constitué par des calcaires compacts et quelquefois spathisés appartenant à l'étage oxfordien et à celui de l'oolithe bathonienne, accidentellement surmontés par quelques lambeaux d'un calcaire tertiaire lacustre rattaché à l'étage de Beauce. Ces terrains forment de grands plateaux appelés *causses* dans lesquels le phosphate se rencontre en vastes poches ou en longues veines ayant des directions en rapport avec les systèmes de cassure du terain, comme cela se reproduit pour les vides analogues restés béants dans la même région sous le nom de gouffres, avens, etc... ou pour ceux qui ont été remplis par du minerai de fer sidérolithique.

Allure des gîtes. — La forme de ces gîtes est assez constante. A la surface, on trouve un épanouissement de la roche phosphatée sous forme d'un amas confus de blocs irréguliers du minéral et de terres rouges. En profondeur, le phosphate remplit de véritables grottes qui plongent verticalement dans le sol : tantôt de simples boyaux où un homme aurait peine à descendre, tantôt de larges entonnoirs ayant jusqu'à 60 mètres de diamètre ou d'immenses crevasses à parois verticales qui se sont prolongées, comme aux carrières des environs de *Carjac* sur 600 mètres en direction et 40 mètres de large et ont atteint, à *Saint-Jean-de-Laur* par exemple, des profondeurs de 110 mètres.

Certains gisements, comme celui de *Pendaré*, affectent la forme

de véritables filons, à parois verticales[1] grossièrement parallèles et se poursuivant sur plusieurs centaines de mètres avec 2 ou 3 mètres de puissance ; mais, quelquefois aussi, comme à *Lamandine*, on voit le phosphate courir en tous sens à travers le calcaire, sous forme de veines de quelques centimètres remplies de phosphate de chaux absolument pur.

Quelles que soient leurs formes, les parois de ces excavations portent toutes des traces d'érosions manifestes : les protubérances de leurs surfaces sont toujours à contours arrondies ; on n'y observe jamais de roche saillante à arêtes vives, et, si l'on examine de près la roche calcaire, on la trouve recouverte d'une croûte pulvérulente de calcaire argileux sous laquelle la roche se montre plus ou moins corrodée.

La distribution des matières de remplissage s'est faite dans ces gisements avec un certain ordre que les travaux d'exploitation ont bien mis en évidence et qui semblerait contraire à l'idée d'une substitution progressivement étendue du phosphate au calcaire ; c'est toujours contre les parois calcaires que se trouvent les phosphates concrétionnés à haute teneur, le centre du dépôt étant occupé par des terres argileuses ou marneuses ; mais ces marnes ou argiles ne sont pas dépourvues de phosphate : on l'y trouve en tubercules ou rognons souvent très volumineux, isolés au milieu des argiles et sous forme de grains constituant, au milieu des terres, un véritable sable phosphaté.

Enfin, pour terminer ce qui a rapport à l'allure des gisements, nous devons appeler l'attention sur les gisements tout à fait spéciaux découverts à *Bozouls*, département de l'Aveyron.

Là on rencontre la roche phosphatée, non plus dans le calcaire mais dans un basalte à structure sphéroïdale, plus ou moins altéré et dans les tufs et conglomérats éruptifs qui en dépendent. Le phosphate ne forme pas de dépôts continus, il s'isole sous forme de rognons quelquefois très gros à structure concrétionnée avec des ramifications saillantes et très déliées, divergeant en tous sens à

[1] On peut leur comparer, comme vide actuellement béant dans la même région et présentant également l'aspect d'une longue fracture verticale, la galerie souterraine de Padirac (*Tour du Monde*, 1890).

travers la masse du tuf éruptif; ces blocs phosphatés empâtent très souvent des débris de tufs basaltiques.

Aspect du minerai. — Si nous passons maintenant à la composition même du remplissage, nous trouvons le plus souvent le phosphate comme une roche grise ou blanc mat, mêlée de parties colorées par de l'oxyde de fer, ne montrant jamais les lamelles cristallines des calcaires et affectant toujours une structure concrétionnée des plus caractéristiques.

Quelquefois le phosphate prend une apparence compacte, esquilleuse dans sa cassure, mamelonnée à sa surface, d'un éclat comparable à celui de certains silex, mais se rayant facilement sous l'acier et accusant toujours, par les zones alternatives qui s'y dessinent, sa formation par voie de dépôts successifs. Cette variété compacte se colore quelquefois en bleu très pur, et la roche ressemble alors à une agate qui aurait la couleur d'une turquoise.

D'autres fois, la chaux phosphatée prend l'éclat et la couleur des dents vivantes; ou encore elle forme des masses très finement ramifiées, celluleuses et recouvertes de petites concrétions ayant l'aspect de certaines calamines.

Composition des minerais. — La teneur en acide phosphorique de ces minerais est très remarquable : à Pendaré, elle atteignait 72 p. 100 de phosphate tribasique; au début, à Lamandine, 82 p. 100; dans tout le Lot, en moyenne, 62 p. 100. La roche contient de l'iode, du fluor et du soufre (surtout dans les variétés bleues ou brun foncé). En outre, un certain nombre de matières minérales ont accompagné la formation du phosphate, telles que :

1° Des argiles ferrugineuses qu'on trouve parfois en masses absolument blanches dans l'intérieur des rognons creux de phosphates et des marnes calcaires qui forment le remplissage principal de presque tous les gisements;

2° Du fer hydroxydé pisolithique constituant parfois une sorte de poudingue dont le ciment serait le phosphate;

3° Du peroxyde de manganèse interposé entre deux zones successives de chaux phosphatée et de la calcite cristallisée en géodes.

Faune des phosphorites. — « L'exploitation[1] de ces gîtes de phosphorite du Quercy, a dit M. Douvillé, a mis au jour une quantité considérable d'ossements fossiles remarquables par leur belle conservation. Grâce aux travaux de MM. Gervais, Gaudry, Filhol, cette *faune des phosphorites* est aujourd'hui une des plus riches et des mieux connues de la période tertiaire. Elle est caractérisée par la présence simultanée de formes généralement considérées, les unes comme éocènes, les autres comme miocènes; c'est ainsi qu'on y rencontre le Palæotherium et l'Anoplotherium à côté du Rhinocéros et de l'Anthracotherium. » On aurait pu croire dès lors (et on a soutenu en effet) que le dépôt des phosphates de chaux avait commencé à l'époque de l'éocène supérieur et s'était prolongé jusque pendant le miocène inférieur, comme l'existence de certains gouffres restés béants depuis des époques très anciennes et où s'accumulent les carcasses des animaux tombés pourrait l'expliquer.

« Mais, si l'on examine de plus près les types considérés comme éocènes, on voit que dans leur ensemble, ils présentent un caractère plus récent que les formes correspondantes du gypse parisien : les Anoplotherium vrais sont remplacés par les Eurytherium, type voisin mais plus évolué et les Palæotherium cèdent presque complètement la place aux Paloplotherium. Les formes miocènes, au contraire, ont un caractère ancien : les Rhinocéros présentent des formes de passage aux Lophiodon et les Ruminants n'ont pas atteint le degré d'évolution des Ruminants du calcaire de Beauce ou du calcaire de la Limagne ; leurs métacarpiens ne sont pas encore aussi complètement soudés.

« D'un autre côté, si, dans le bassin parisien, la faune éocène à Palæotherium paraît si distincte de la faune miocène à Anthracotherium, c'est uniquement par suite de la lacune qui existe entre la faune du gypse et celle des calcaires de Beauce.

« Dans le bassin de la Garonne, où la série est plus complète, on a depuis longtemps signalé à Villebramor et à Moutans la coexistence, dans les mêmes couches, du Palæotherium et du Paloplothe-

[1] Nous empruntons ce paragraphe à une note de M. Douvillé parue dans la Statistique de l'*Industrie minérale* de 1887, p. 258.

ium avec le Rhinocéros et l'Anthracotherium. Ces couches viennent stratigraphiquenent se placer sur un horizon qui paraît peu différent de celui du calcaire de Brie. M. Gaudry, dans ses « enchaînements des mammifères tertiaires », rapporte à cette même époque la faune des phosphorites et nous ne pouvons, ajoute M. Douvillé, que nous ranger à la même opinion. Nous serions donc porté à attribuer ces dépôts plutôt à la base du miocène qu'au sommet de l'éocène où on les a le plus souvent placés jusqu'ici. »

Mode de formation des phosphorites du Quercy. — Ces différents faits peuvent permettre de tenter une explication au sujet du mode de formation des phosphorites du Quercy.

Il semble tout d'abord bien vraisemblable que le phosphate s'est déposé dans des cavités préalablement creusées par des eaux acides, chargées par exemple d'acide carbonique, qui auront corrodé chimiquement le calcaire en profitant de toutes ses fissures préexistantes[1]. A ce point de vue, l'étude des cavités naturelles des causses, grottes, avens, etc., entreprise par M. Martel, est instructive par les analogies qu'elle fait ressortir entre la forme de ces cavités dues simplement aux eaux superficielles et les poches de phosphates. D'autre part, on doit remarquer, entre ces gisements phosphatés et ceux de minerai de fer de la même époque, un rapprochement qui n'est pas accidentel, mais se retrouve dans toute l'histoire géologique de la terre.

Le phosphore et le fer, associés dans les météorites, se rencontrent également réunis dans la plupart des minerais de fer sédimentaires où le phosphore, accompagné lui-même par du vanadium, semble exister en proportion d'autant plus faible que ces minerais sont plus anciens, ont été purifiés plus complètement par des réactions secondaires et par un métamorphisme plus avancé. Dans les magnétites de Suède et de l'Oural qui ont pourtant la réputation de donner des fers particulièrement purs,

[1] L'idée d'une substitution progressive du phosphate au calcaire serait, comme nous l'avons remarqué, contraire à la disposition zonée des dépôts généralement observée. Celle-ci s'explique au contraire très bien par un phénomène sédimentaire.

il existe des cristaux d'apatite. Dans les minerais de fer de Meurthe-et-Moselle, la proportion de phosphore atteint 1 p. 100; elle est plus considérable encore dans les fers en grains des marais. La même connexion semble enfin exister dans les formations (filoniennes ou sédimentaires) de la fin de l'éocène où nous voyons en même temps se remplir des poches de phosphorite dans le Quercy, des poches de fer en grains dans le Berry, tandis que des filons ferrugineux s'ouvrent en des points nombreux. Mais, dans ce dernier cas qui est celui qui nous intéresse actuellement, la séparation du fer et du phosphore semble s'être faite d'une façon particulièrement complète, puisqu'à quelque chose près nous trouvons le fer d'un côté, le phosphore de l'autre; il a fallu pour cela que les deux corps aient été isolés l'un de l'autre, soit par une métallurgie interne plus avancée, soit plutôt par des réactions chimiques superficielles plus complexes.

Maintenant, les eaux qui ont déposé le phosphate dans le Quercy sont-elles arrivées par en haut ou par en bas; le phosphate vient-il d'une origine superficielle ou même organique (ossements d'animaux) ou de la profondeur; la question, comme toutes celles du même genre, est encore très vivement discutée et chacun la résout surtout d'après sa tendance d'esprit; nous nous contenterons d'indiquer les arguments avancés de part et d'autre.

Contre l'origine organique, on remarque très justement que, d'une part, les ossements sont particulièrement bien conservés dans les poches de phosphorite et n'ont par conséquent pas contribué à les former par leur dissolution[1]; d'autre part, que l'accumulation de dépouilles d'animaux suffisantes pour fournir le phosphate de ces poches serait tout à fait inexplicable.

Restent donc deux théories en présence :

1° Le phosphate a été apporté d'en haut, en même temps que les os, par des eaux qui, à l'époque éocène, ont recouvert la partie

[1] Des recherches récentes de M. Carnot [C. R., 2 mai 1892] ont montré que les os anciens différaient surtout chimiquement des os récents par la production d'un peu de phosphate ferreux aux dépens du phosphate de chaux et par une introduction de fluor tendant à former un fluophosphate cristallin comparable à l'apatite.

les causses où se trouvent les poches et qui, elles-mêmes, le con-
enaient dans des conditions analogues à celles de tous les autres
errains sédimentaires : conditions que nous discuterons plus loin.
l y a eu alors, dans les cavités superficielles des terrains calcaires,
récipitation chimique et concentration de certains éléments
phosphate ou fer) qui, ailleurs, sur un fond argileux continu,
e déposaient en couches ;

2° Le phosphate est un produit d'incrustation filonienne et
ydrothermale arrivé par en bas dans des sources minérales
emblables à celle de Montemayor citée plus haut.

Pour soutenir le remplissage par en haut, on se fonde : soit
ur la présence de galets (qui n'est pas bien concluante,
uisque, dans la vasque thermale ouverte formée par le haut d'un
lon, il a pu parfaitement tomber des galets) ; soit sur la termi-
aison habituelle des poches en profondeur.

Ce dernier argument, qui est le plus sérieux, demanderait
ourtant à être vérifié de près, car il est très fréquent dans un
lon de rencontrer des parties minces alternant avec des
enflements, et, pour une matière de valeur assez faible comme
ont le phosphate ou le fer en grains, il a dû forcément arriver
u'industriellement on se soit arrêté au fond du premier renflement
ans aller chercher, quelquefois assez loin, s'il en existait un autre
u-dessous.

Par contre, l'identité des phosphorites du Lot avec celles de
ozouls, situées dans des basaltes, le rapprochement avec les phos-
horites filoniennes de l'Estramadure pourraient être considérés
omme des indices d'une origine hydrothermale. En tout cas,
'existence de blocs de phosphates à ramifications divergentes
t très déliées au milieu des terres de remplissage, la constitution
es veines de Lamandine de quelques centimètres à peine de puis-
ance et faites de phosphates purs, la disposition souvent zonée
u remplissage ne permettent pas de supposer qu'il y ait eu là des
aux tourbillonnantes, chargées de galets, ayant mécaniquement
reusé des vides suivant les diaclases ; il a fallu antérieurement
'existence d'eaux acides. Dans l'hypothèse hydrothermale, on a
'ailleurs expliqué la localisation des poches de phosphorite au
oisinage de la surface, comme la substitution de la silice au

phosphate dans la profondeur des filons d'Espagne, soit parce que ces eaux contenaient le phosphate en dissolution à la faveur d'un excès d'acide carbonique qui s'est dégagé en raison d'une diminution de pression à son arrivée à l'air[1], soit parce qu'elles renfermaient des sulfures (par exemple de fer) ayant, par oxydation à l'air, donné des eaux sulfuriques et corrodantes qui ont creusé des poches dans le calcaire. Le phosphate se serait alors déposé par la saturation de ces acides au contact du carbonate de chaux, tandis que les sels de fer solubles avec un excès de phosphore se répandaient à la surface dans les bassins de sédimentation[2].

Statistique. — Au point de vue statistique, la production a été :

	PRODUCTION ANNUELLE	PRODUCTION TOTALE	PRIX
1870-75.	15.000	75.000	60 francs.
1875-80.	12.000	60.000	50 —
1880-85.	20.000	100.000	30 —

Ce qui représente, jusqu'en 1885, une production de 235,000 tonnes valant 10 millions. En 1886, la production a été encore de 30,000 tonnes à 32 francs; depuis, elle a très fortement diminué.

[1] La surface, à l'époque de la formation phosphatée, n'était certainement pas la même qu'aujourd'hui ; mais l'épaisseur qui a pu être enlevée par érosion est d'un ordre de grandeur comparable à la profondeur sur laquelle persistent les phosphates.

[2] Il y a lieu de mentionner l'alliance constante du fluor et du phosphate de chaux, déjà remarquée par Elie de Beaumont, Frémy, Chevreul, etc., précisée récemment dans un beau travail de M. Carnot (C. R., 2 et 23 mai 1892), association qui existe dans les apatites, dans les phosphorites et qui se retrouve jusque dans les os des animaux. M. Carnot a montré que les phosphorites semi-cristallines à structure fibreuse ont presque exactement la composition des apatites cristallisées, tandis que les phosphorites bien concrétionnées, zonées et à surfaces mamelonnées, ne renferment que des quantités très faibles de fluor. Ce fluor semble donc avoir joué un rôle dans la cristallisation du phosphate. Dans les os fossiles et les phosphates sédimentaires, il paraît y avoir eu introduction progressive de fluor sous les actions métamorphique extérieures avec tendance à la formation d'un fluophosphate cristallin analogues à l'apatite.

Le nombre des ouvriers employés était, en 1886, de 1,200.

Des phosphorites analogues et du même âge se rencontrent dans le *Gard*, près de *Tavel et Lirac*.

Bibliographie.

1871. Daubrée. — Phosphorites du Quercy. (C. R., t. LXXVIII, p. 1030.)

1872. Gervais. — Sur les gisements de mammifères observés dans les phosphates de Tarn-et-Garonne et du Lot. (*B. S. G.*, 2e, t. XXIX, p. 392.)

1872. Delfortrie. — Les gîtes de chaux phosphatée dans le département du *Lot*. (*Ann. Soc. linn. de Bordeaux*, t. XXVIII, p. 505. Bordeaux, 1872.)

1873. Combes. — Note sur l'origine et la formation des minerais de fer du Haut-Agenais (Lot-et-Garonne) et du phosphate de chaux du *Quercy* (Lot). (In-8°, 1873.)

1874-76. F.-W. Rudler. — Notes on specimens of phosphorites from the department of the *Lot*, France. (*Proceedings of the geologist's Association*, t. IV, p. 164. London, 1874-76.)

1874. Baudrimont. — Sur les phosphates du Lot. (*Soc. d'agric.*, 3e série, t. IX.)

* 1875. Daubrée. — Phosphorites du Quercy. (*B. S. G.*, 3e série, t. III, p. 399.)

1875. Rey Lescure. — Sur les phosphatières du Tarn-et-Garonne. (*B. S. G.*, 3e, t. II, p. 398.)

* 1877. Filhol. — Phosphorites du Quercy. (*Ann. des Sc. géologiques*, t. VIII.)

* 1887. Statistique de l'industrie minérale en France, p. 257, etc.

1888. Penrose. — Phosphate of lime, p. 48.

III. — GITES SÉDIMENTAIRES

Nous allons rencontrer le phosphate de chaux dans la plupart des terrains sédimentaires; il y est presque aussi abondant que l'oxyde de fer et s'y développe souvent à peu près en même temps, à certains niveaux déterminés, dans des conditions qui auraient besoin d'être géologiquement précisées pour que l'origine en puisse être complètement éclaircie.

Le seul point qui nous paraisse assez net, c'est que ces dépôts d'argile et d'oxyde de fer, plus ou moins chargés de phosphore, se sont produits en général le long des rivages, à faible distance

des bords du bassin, et que le phosphate, épars en dissolution chimique dans les eaux, s'y est concentré de préférence autour d'un débris organique. C'est pour ces deux raisons que tant de couches de nodules phosphatés et d'oolithes ferrugineuses sont chargées en abondance de coquilles fossiles, et il n'est pas nécessaire d'admettre, comme on l'a fait, que les éléments de phosphore, pour se grouper dans ces mêmes couches, aient dû nécessairement passer par l'intermédiaire de la vie.

Cependant, cette influence de la vie est probablement intervenue dans la constitution de gisements d'une autre nature et qui jouent aujourd'hui un rôle important dans l'industrie des phosphates, ce sont les bancs réguliers de craie phosphatée qui existent en particulier dans le crétacé. Le phosphate de cette craie se présente là, d'après des études récentes de MM. Renard et Cornet, sous forme de granules phosphatés entourant les grains de vase à globigérines formant la craie blanche ordinaire, et ces granules résultent eux-mêmes de la phosphatisation de débris organiques reconnaissables le plus souvent au microscope : moules de foraminifères, os, écailles, débris de poissons. De la présence de foraminifères non phosphatisés à côté de ces globules, on a conclu que la phosphatisation avait commencé par se faire comme pour les nodules, près du rivage; puis que les éléments phosphatés avaient été entraînés au large par les courants et s'y étaient mélangés en proportion assez constante avec la boue à globigérines[1].

Ces bancs de craie phosphatés une fois constitués, des actions de concentration mécanique, analogues à celles qu'on reproduit artificiellement dans des lavoirs, ont, à la faveur de ravinements postérieurs, produit des enrichissements locaux sous forme de poches contenant des sables à 37 p. 100 d'acide phosphorique comme ceux qu'on exploite à Beauval dans la Somme.

Ce phénomène de concentration peut être comparé à celui qui, dans bien des cas, a produit des gisements exploitables aux affleure-

[1] D'après MM. Murray et Renard, il se forme actuellement, dans la boue à globigérines des mers profondes, des concrétions de phosphate de chaux (sans fluorure de calcium) provenant de la décomposition des ossements de vertébrés.

ments de couches à nodules disséminés (dévonien dans le Nassau, lias inférieur dans l'Auxois, Caroline du Sud, etc.).

Quant à l'origine première du phosphore, elle reste d'autant plus douteuse qu'elle varie sans doute suivant les cas : décomposition de corps d'animaux (ayant eux-mêmes dû concentrer du phosphore épars dans la mer); phosphate des roches dissous et reprécipité chimiquement; sources thermales, etc.[1]. Pour MM. Lasne, Dieulafait, Munier Chalmas, que nous serions assez disposé à suivre en cela, le phosphore viendrait originairement de la dissolution de l'apatite disséminée dans toutes les roches éruptives qui forment la cuvette primitive des bassins marins et aurait été localisé sous l'action des courants. Pour M. de Mercey, il y aurait eu, au contraire, apport par des sources. On a proposé de distinguer le phosphate précipité chimiquement de celui provenant des os en se fondant sur la présence du fluorure de calcium dans le premier; des analyses récentes de M. Carnot, en montrant que les os aussi bien que les phosphates quelconques s'enrichissaient en fluor par la fossilisation et tendaient à prendre la composition de l'apatite, ont rendu cette distinction fort illusoire.

Ces généralités posées, nous allons passer à la description successive des divers phosphates sédimentaires, depuis les plus anciens jusqu'aux plus récents.

A. — TERRAIN SILURIEN

NORTH WALES

Le silurien comprend dans le North Wales anglais un dépôt de phosphate intéressant quoique inexploité dont Davies a fait une description spéciale.

Les couches sont plissées à peu près suivant une ligne Nord-Sud, ainsi que le montrent les figures 53 et 54. De A en B, on trouve un synclinal; de B en C, un anticlinal.

[1] Les idées personnelles de M. Fuchs, un peu différentes de celles que nous exprimons ici, ont été énoncées par lui dans son mémoire sur les phosphates. Il attribuait au phosphore une origine exclusivement interne.

Le niveau de phosphate, reconnu surtout autour de Berwyn, suit *la partie supérieure du calcaire de Bala.*

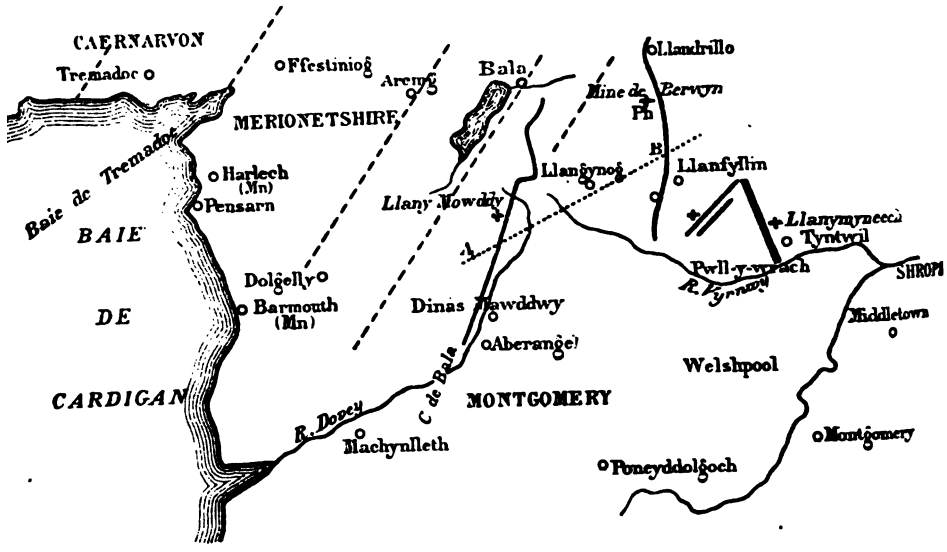


Fig. 53. — Carte montrant la position des niveaux phosphatés dans le calcaire de Bala du North Wales.

Les traits pleins indiquent les affleurements du calcaire du Bala, les + les gisements reconnus de phosphates (Ph) — Mn les mines de manganèse.

Si l'on prend la coupe des couches au voisinage, telle qu'on peut

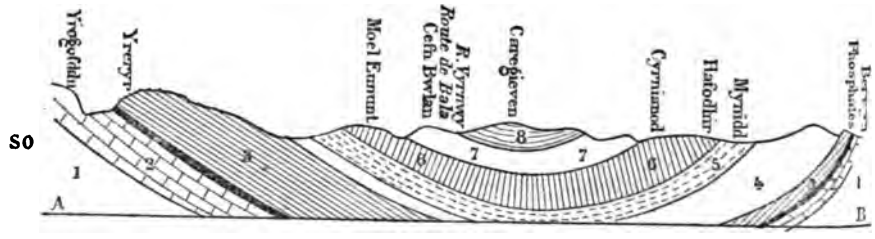


Fig. 54. — Coupe verticale AB de la région phosphatée du North Wales.

6,7,8, schistes de Wenlock. — 5, schistes de Tarennon. — 4, schistes gris et bleutés. — 3, schistes gréseux et calcarifères. — Phosphates. — 2, calcaire de Bala. — 1, lits bleus ardoisiers à fossiles.

l'observer dans la mine de Bala, on a la succession suivante de haut en bas :

a. Schistes gris avec échinodermes et autres fossiles phosphatisés (1);
b. Lit de phosphates;

c. Calcaire sombre imprégné de phosphates (2);
d. Schistes sombres avec veines de sulfate de baryte (1);
e. Calcaire avec veines de sulfate de barite;
f. Schistes sombres;
g. Calcaires gris bleutés, etc.

Le lit de phosphate a une épaisseur variable de $0^m,50$ à 1 mètre. Il est généralement noirci par une forte proportion de graphite; là où il ne contient pas de graphite, il est accidentellement d'un jaune pâle. Le banc est formé de nodules agglomérés les uns aux autres, souvent d'un aspect poli dû à la présence du graphite et cimentés par une matière noire. On y trouve beaucoup de pyrites. La teneur en phosphate dépasse 60 p. 100. Davies n'hésite pas à assigner à cette couche phosphatée une origine organique.

Bibliographie.

1867. Davies. — On a bed of phosphate of lime in North Wales. (*Geol. Magaz.*, t. IV, p. 257.)
1875. Davies. — The phosphorite deposits of *North Wales*. (*Q. J. geol. Soc. Lond.*, t. XXXI, p. 357.)
1888. Penrose. — Phosphate of lime, p. 80.

En dehors de ce gîte, nous ne mentionnerons que pour mémoire les concrétions phosphatées noduleuses intercalées dans les schistes ardoisiers d'Angers, dans des schistes du même âge qui affleurent sur les bords du Dniester (Podolie russe), dans les grès de Saint-Pétersbourg, et enfin dans la lumachelle des rives de la Mtsa, petite rivière du gouvernement de Novogorod; aucun de ces gisements ne paraît avoir une importance suffisante pour être utilisé industriellement.

B. — TERRAIN DÉVONIEN

PHOSPHATES DU NASSAU [1]

Un seul groupe de gîtes nettement définis a été signalé dans le terrain dévonien; c'est celui qui alimente les exploitations

[1] Coll. *Ecole des Mines*, 1557.

des environs de Weilbourg et de Limbourg (*Nassau*), et encore ces gîtes ne sont-ils pas simplement enclavés dans les assises sédimentaires : la constitution de la partie réellement exploitable de leur masse est due à des phénomènes accessoires récents qui ont concentré les phosphates dans les terrains superficiels.

Fig. 55. — Carte montrant la position des gisements de phosphate et de manganèse du Nassau.

Les phosphates du Nassau furent découverts en 1830 par M. Sandberger, puis par M. Meyer qui cherchaient des minerais de manganèse. Une exploitation fut commencée à Staffel en 1863. En 1864, le professeur Fresenius et M. Moh de Coblentz firent des analyses à la suite desquelles les explorations se multiplièrent. Pendant une vingtaine d'années, ces mines ont extrait environ 30 000 tonnes par an.

Les gisements sont situés dans l'espace compris entre la ville de Weilburg au Nord-Est, le Westerwald au Nord-Ouest et la ville de Diez au Sud. Au Sud de cette ville aussi bien qu'au Nord de Weilburg, on retrouve des traces de minerai, mais inexploitables. A l'Est et au Sud, la région minéralisée est bornée par la rivière la Lahn dont les eaux sont employées d'une part au débourbage des minerais, de l'autre à leur transport jusqu'au Rhin, à Oberlahnstein, environ à 3 milles de Coblentz.

Les terrains qui affleurent dans cette région appartiennent à la partie moyenne du dévonien dont nous reproduisons la coupe d'ensemble :

Famennien .	Schistes à cypridines. Schistes à nodules calcaires. Flinz et assises à goniatites.
Eifelien. . .	*Schistes à nodules* (*Kramenzel inférieur*). *Calcaires à stringocéphales* avec diabases et schalstein. Couches à calcéoles et minerais de fer.
Rhénan. . .	Schistes ardoisiers de Wissembach à orthocères et goniatites. Grauwacke coblencienne.

Ce dévonien est remarquable par les nombreux épanchements

de diabase qui s'y sont fait jour et qui, en se mêlant aux sédiments schisteux, ont donné naissance à un tuf particulier connu sous le nom de *schalstein*.

La zone où paraît s'être concentré originairement le phosphate est celle des calcaires à stringocéphales avec diabases et schalstein et celle des schistes à nodules. Ces schistes argileux d'un brun rouge contiennent souvent des rognons calcaires irréguliers qui, en se dissolvant sous l'action des eaux chargées d'acide carbonique, laissent une roche criblée de trous et d'aspect scoriacé, désignée sous le nom de *kramenzel*.

D'après l'étude faite sur les lieux par M. Fuchs en 1883, le gisement se présenterait suivant quatre types bien distincts :

1° Imprégnation à 5 p. 100 environ des schistes à nodules;

2° Poches dans le calcaire à stringocéphales (niveau inférieur aux schistes);

3° Remaniement et concentration du phosphate provenant de ces deux premières sources dans un limon tertiaire aujourd'hui seul exploité.

Sa conclusion était que l'acide phosphorique avait dû être apporté par des sources thermales probablement contemporaines du dépôt des schistes à nodules et que les poches dans le calcaire provenaient de la dissolution de celui-ci par ces eaux acides.

Avant de décrire avec quelques détails ces divers types de gisements, nous croyons devoir indiquer l'interprétation toute différente donnée des mêmes faits par les partisans exclusifs des seules actions superficielles. C'est ainsi que Davies, qui consacre aux phosphates du Nassau une assez longue description, se borne aux noyaux du limon et leur attribue un âge tertiaire un peu plus ancien que celui des phosphorites du Quercy (?). Selon lui, le phosphore viendrait : partie de la destruction des porphyres, partie d'une origine organique et il ne mentionne même pas l'hypothèse d'un âge beaucoup plus ancien et d'une origine interne.

Passons maintenant en revue les divers types :

1er type : les phosphates se présentent à l'état d'imprégnation dans un schiste argilo-siliceux, dit Kramenzel. C'est ainsi qu'à *Eckholshausen*, on rencontre une couche de ce genre affleurant au fond d'un ravin ; mais ces schistes, ne contenant que 5 à 6 p. 100

de phosphate, sont en principe industriellement inexploitables.

2e type : Le phosphate remplit des poches du calcaire à stringocéphales. Les gisements de ce genre qui ont eu autrefois une grande importance industrielle, ont quelque rapport avec ceux des phosphorites du Quercy; on y trouve de même, dans des poches visiblement corrodées par les eaux, des rognons de phosphate au milieu de sables et d'argiles ferrugineuses pouvant résulter de la dissolution du calcaire. Ce phosphate contient jusqu'à 3 ou 4 p. 100 de phosphore. Pour M. Fuchs, il avait été apporté par des eaux acides contemporaines du dépôt des schistes imprégnés. On a, d'autre part, considéré ces gîtes comme résultant d'une concentration superficielle beaucoup plus récente. Comme exemple de ce genre de gisements, nous citerons *Cubach*.

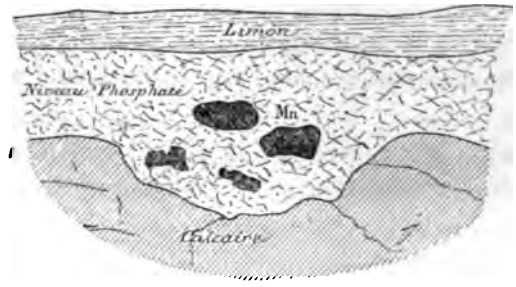


Fig. 56. — Coupe du gisement de Cubach (d'après Davies).

Là on voit la phosphorite qui pénètre en poches dans le calcaire, recouverte par une couche de limon avec lignite.

Ces gisements en amas sont ceux auxquels l'exploitation s'est d'abord attaquée. Pendant vingt ans, on n'en a pas extrait annuellement moins de 30 000 tonnes. Aujourd'hui les poches de ce genre sont épuisées et tous les efforts se portent sur les rognons disséminés du troisième type.

Le 3e type est représenté par une série de couches formées de rognons phosphatés disséminés dans un limon qui a 8 ou 10 mètres d'épaisseur.

Les rognons de phosphate semblent provenir de la destruction des terrains subjacents et d'une concentration des phosphates dis-

séminés dans les schistes ou les calcaires. Tantôt ces rognons sont d'un brun terreux, riches à 50 ou 55 p. 100 seulement et sont probablement à rattacher aux schistes ; tantôt ils sont blancs ou roses et agatisés (à Bärenbach par exemple) et contiennent 70 p. 100 de phosphate : ceux-là proviennent sans doute de la destruction des poches du calcaire. Un fait à signaler est la présence très fréquente de dépôts de fer et de manganèse associés aux phosphates, dépôts qui paraissent résulter d'une précipitation chimique accomplie dans les mêmes conditions[1]. C'est à des formations de ce genre que les

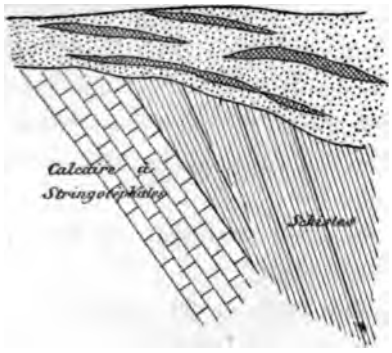


Fig. 57. — Coupe verticale près d'Arfurt (d'après Davies).

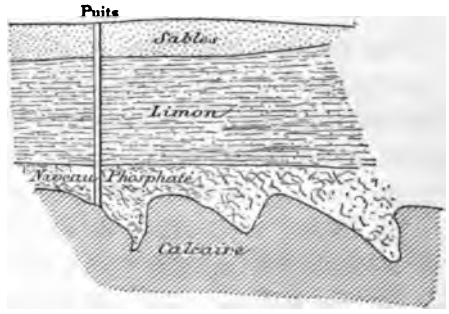


Fig. 58. — Coupe verticale du gîte de Frauenfels (Nassau).

observateurs ont rattaché les poches du calcaire à stringocéphales lorsqu'ils ont cru à l'âge tertiaire et à l'origine extérieure du phosphate. Il est évident, en effet, que le cas de Cubach peut s'expliquer par un dépôt sur une surface corrodée et il en est de même des coupes précédentes (fig. 57 et 58) empruntées à Davies.

Le type le plus net de ces gisements tertiaires est celui de *Frauenfels* représenté par la figure 58, où les couches à nodules phosphatés recouvrent en discordance le calcaire et les schistes.

Conditions économiques. — L'analyse des phosphates du Nassau donne :

[1] Nous aurons à y revenir au chapitre du *Manganèse*.

PHOSPHATES DU NASSAU	HAFFTEL	DIEZ	KATZEN ELLEN-BOGEN
Silice	4,83	1,05	1,76
Acide phosphorique	34,48	36,78	37,04
Fluor	3,45	2,46	4,27
Acide carbonique	1,55	4,25	2,48
Peroxyde de fer	6,42	0,61	2,51
Alumine	1,08	»	»
Chaux	45,79	53,30	52,07
Magnésie, potasse, soude et eau	2,45	2,27	2,56
Iode	»	0,03	0,09
	100,05	100,75	102,78

Les couches de limon actuellement exploitées produisent en moyenne : 5 p. 100 de rognons purs à 70 p. 100 de phosphate provenant des poches du calcaire; 95 p. 100 de rognons terreux à 50 ou 55 p. 100 venant des schistes. Le débourbage donne, en outre, des sables à 40 p. 100 de phosphate.

En 1883, l'exploitation de phosphate du district était de 300 à 400 tonnes par mois.

Elle se fait par d'innombrables petits puits de 30 à 40 mètres de profondeur. Les terrains sont loués aux propriétaires moyennant une redevance dont la forme varie : soit une somme annuelle de 12 francs par 25 mètres carrés occupés effectivement, plus une somme variable une fois donnée; soit 1 fr. 50 à 2 francs par tonne.

Le transport a lieu par bateaux portant, suivant la hauteur de l'eau, de 150 à 200 tonnes.

Les dépenses d'exploitation, lavage et transport à la Lahn sont de 33 à 37 francs par tonnes; le fret jusqu'à Oberlahnstein de 4 à 5 francs.

Bibliographie.

Stein. — (*Jahrb. des Ver. der Naturk. im Herzogthum Nassau*, t. XIX.)

1868. Davies. — On the depos. of Ph. of lime recently discovered in Nassau. (*Géol. Mag.*, 1868, p. 262.)

1877. Von Decken. — Uber, ein neues vorkommen der Phosphorit bei Brilon. (*V. Pr. Rh. u. West*, p. 117.)

1883. Fuchs. — Notes de voyage inédites.

C. — TERRAIN HOUILLER

Le phosphate de chaux se présente dans le terrain houiller, tantôt sous forme de nodules ou de rognons terreux, généralement substitués ou associés à la sphérosidérite,comme dans les argiles et les schistes argileux de Fins (Allier), où leur teneur atteint 57 p. 100 environ, tantôt sous forme d'imprégnation dans les calcaires bitumineux qui en renferment de 3 à 7 p. 100.

Les nodules se retrouvent encore dans les argiles schisteuses noires du bassin de la Ruhr, à la partie supérieure du grès houiller du Var (Bastide-Bozain, près Fréjus) et au milieu des argiles à limonite qui surmontent le calcaire carbonifère de la Belgique.

D. — TERRAIN PERMO-TRIASIQUE

On a signalé des nodules dans les argiles rougeâtres et dans les grès bigarrés des environs de Poujet et de Fréjus (Var), qui sont les représentants du terrain permien supérieur et du Trias inférieur, ainsi que dans les marnes gypseuses de Draguignan qui sont rapportées au Muschelkalk.

E. — TERRAIN LIASIQUE

PHOSPHATES DE L'AUXOIS (LIAS INFÉRIEUR[1])

Le terrain liasique comprend en France un certain nombre de niveaux phosphatés dont le plus inférieur est celui de l'Auxois.

Au Nord et à l'Est du promontoire granitique que forme le Morvan, s'étend une bande de calcaires à gryphées et de marnes constituant le lias inférieur que les érosions ont mis à nu.

[1] Coll. *École des Mines*, 1856.

Lorsque ces calcaires sont décomposés par les agents atmosphériques, ils donnent naissance à un limon rouge ferrugineux dans lequel sont empâtés les nodules de phosphates qui ont échappé à la décomposition [1].

L'existence de ces nodules phosphatés fut reconnue pour la première fois en 1822 par de Bonnard, dans une tranchée du canal de Bourgogne à Saint-Thibault. En 1872, M. Collenot trouva des gîtes semblables dans une tranchée du chemin de fer d'Avallon aux Laumes. En 1876, enfin, une compagnie, bientôt suivie par trois ou quatre autres, ouvrit des chantiers aux environs de Semur.

Quoique les phosphates se trouvent dans cette région à deux niveaux : bancs inférieurs du lias moyen, bancs supérieurs du lias inférieur, ces derniers seuls (correspondant à la zone à Ammonites Bucklandi) sont exploités.

La zone phosphatifère existe entre Semur et Avallon sur une étendue d'environ 5 000 hectares pouvant fournir par hectare 3 000 tonnes, soit en tout 1 500 000 tonnes. Elle est surtout exploitée entre Semur et Beaune, à Montigny-sur-Armançon, etc. La teneur des nodules généralement tufacés et concrétionnés, varie de 55 à 65 p. 100. Ils sont associés à des oolithes ferrugineuses (Thoste) auxquelles ils passent souvent par transition insensible. Le rendement moyen est de 30 à 40 kilogrammes par mètre carré et la couche présente une épaisseur variable de 10 à 60 centimètres.

L'analyse de ces phosphates donne :

Acide phosphorique	17,52	à	15,15
Chaux combinée	18,91		15,49
Carbonate de chaux	2,25		2,02
Fluorure de calcium	4,30		5,10
Alumine	0,70		0,23
Oxyde de fer	1,51		3,21
Silice	45,00		»
Matières organiques	0,95		1,10
Eau et pertes	2,16		1,90

[1] Nous empruntons la plupart des détails suivants relatif aux phosphates de l'Auxois ainsi que ceux qui vont suivre sur les phosphates de France aux rapports insérés dans la statistique de l'*Industrie minérale* pour 1886. En outre, nous vons eu l'occasion de visiter les gisements en 1889.

L'extraction a lieu à ciel ouvert au moyen de tranchées où l'on met à nu le lit de nodules de 10 à 12 centimètres qui repose, soit sur du limon, soit sur des bancs calcaires. Dans ces tranchées peu profondes (car, au-dessus de $2^m,50$ de limon, l'exploitation n'est plus rémunératrice), les ouvriers travaillent entre deux murs, l'un de limon, l'autre de remblais et avancent en remblayant derrière eux le terrain défoncé. Les carrières sont, par suite, essentiellement temporaires et, comme la propriété est fort divisée dans ce pays, il en résulte que les diverses sociétés ont vite épuisé l'étendue restreinte dont elles ont pu acquérir le droit de disposer.

Le prix de revient peut être évalué comme il suit :

Indemnités de terrain	6	francs.
Frais d'abatage	30	—
Transport. — Frais généraux	12	—
Traitement à l'usine	12	—
Total	60	francs.

Le prix de vente a, de 1877 à 1880, atteint et même dépassé 100 francs par tonne; depuis, il oscille entre 60 et 70 francs, ne laissant ainsi qu'un maigre bénéfice aux exploitants.

La production s'est élevée en 1886 à 9 720 tonnes. De 1877 à 1880, elle était beaucoup plus importante; elle atteignait environ 20 000 tonnes et cette industrie occupait plus de 500 ouvriers[1].

PHOSPHATES DE LA HAUTE-SAONE

En dehors de l'Auxois, des imprégnations phosphatées ont été signalées en bien d'autres points dans le calcaire à Gryphées : à Chalindrey (Haute-Marne), à Neufchâteau et à Tomblaine (Meurthe-et-Moselle), dans plusieurs localités des Ardennes, à Saudoncourt

[1] Voir : 1825, De Bonnard. Notice géognostique sur quelques parties de la Bourgogne.
1872, Collenot. Du phosphate de chaux dans l'Auxois. (*B. S. G.*, 3e, t. V, p. 671.)
1886, Statistique de l'industrie minérale.

(Vosges), etc. [1]. Pendant un certain temps, de 1882 à 1883, elles ont été exploitées au Sud-Est du département de l'Yonne, sur le prolongement des couches d'Avallon. Nous nous contenterons de décrire rapidement les *carrières de la Haute-Saône* qui, depuis 1880, ont pris quelque importance aux environs de Pomoy et de Vitrey d'abord, près d'Auxon aujourd'hui.

Le gisement, identique à celui de l'Auxois, est formé d'une couche d'argile, avec lits et poches de nodules blanchâtres de phosphate de chaux, située immédiatement au-dessus du calcaire à Gryphées et suivant constamment la limite de séparation du lias moyen et du lias inférieur.

L'épaisseur du lit principal (surmonté à une distance de 30 centimètres par un lit mince nommé *cordon*) varie de 5 à 20 centimètres; accidentellement, on y trouve des poches de remaniement qui atteignent $0^{m},80$, mais avec un mélange de cailloux quartzeux diminuant le rendement.

La teneur moyenne en nodules est de 35 à 60 p. 100; ces nodules eux-mêmes renferment de 27 à 30 p. 100 d'acide phosphorique.

Les nodules sont, en moyenne, de la grosseur d'une noix, parfois plus volumineux; leur couleur est le blanc jaunâtre ou un peu plus foncé, leur dureté est assez grande. On rencontre, mélangés avec eux, un très grand nombre de moules de fossiles phosphatés contenant eux-mêmes 65 p. 100 de phosphate : surtout la Terebratula perforata, la Spiriferina Walcotti et la Zeilleria numismalis qui marque le passage au lias moyen. On a remarqué que la présence des gryphées arquées du lias inférieur ou des bélemnites des couches argileuses, montrant qu'on s'éloignait trop du véritable niveau phosphaté, était un signe défavorable. Les carrières sont exploitées à ciel ouvert dans des conditions analogues à celles de Semur. Vers 1884, on en a extrait annuellement 8000 tonnes à près de 100 francs ; aujourd'hui, le prix ayant baissé à 50 francs, la production a également beaucoup diminué.

Les phosphates, une fois extraits, sont laissés exposés à l'air,

[1] 1879-80, Jeannol. Note sur la présence des phosphates dans le Lias des *Ardennes et de la Meuse*. (Ann. Soc. géol. du Nord, t. VIII. Lille, 1879-1880.)

1879-80, Nivoit. De l'acide phosphorique dans les terrains de Transition et dans le Lias des *Ardennes*. (*B. S. G.*, 3e série, t. VIII, p. 357, Paris, 1879-80.)

souvent pendant tout un hiver. Une partie de la terre se détache ainsi des nodules, qui, une fois secs, sont d'abord criblés, puis lavés. Les nodules lavés sont alors portés : soit au chemin de fer pour être expédiés directement, soit aux usines de Vitrey qui leur font subir une préparation.

On commence par les débarrasser de leur eau hygrométrique (en proportion de 20 p. 100) en les desséchant dans un four incliné, avec sole en tôle ou en fonte. Puis, on les fait passer aux meules et on les met en sacs de 100 kilogrammes pour la vente.

L'expérience ayant montré que les phosphates bien moulus étaient directement assimilables, on se dispense en général de faire la transformation en superphosphate.

Le kilogramme d'acide phosphorique était vendu en 1887, 0 fr. 20 à 0 fr. 25 dans le phosphate moulu, et 0 fr. 55 dans le superphosphate.

Les 100 kilogrammes de phosphate en poudre à la teneur de 20 p. 100 d'acide phosphorique valaient donc de 5 fr. 60 à 7 francs.

PHOSPHATES DU CHER ET DE L'INDRE

Au-dessus du niveau de l'Auxois, le *lias moyen* renferme, dans les départements du *Cher* et de l'*Indre*, plusieurs niveaux phosphatés qui ont été étudiés en détail par M. de Grossouvre. Des phosphates ont été également signalés dans cet étage en Souabe par Grimbel (1864), près de Digne, dans la Corrèze, etc.

Dans le Cher, le sinémurien contient à Germigny (près la Guerche) un gisement équivalent à celui de l'Auxois. Ce même niveau est exploité assez activement dans l'Indre aux environs d'Argenton.

Le *lias supérieur* présente également dans l'Indre trois niveaux phosphatés : l'un à sa base dans une petite couche à Amm. communis (Neuvy-Saint-Sépulcre, Indre), l'autre plus haut dans les couches à Amm. radians (Saint-Maixent et Thouars), le dernier tout à fait à son sommet dans les couches à Amm. opalinus. Aucun de ces niveaux n'est encore utilisé.

SCORIES PHOSPHATÉES DES MINERAIS DE FER DE LORRAINE

Enfin, pour terminer ce qui concerne le lias, il convient de noter que le toarcien, sous forme d'oolithe ferrugineuse, fournit, depuis quelque temps, dans la Lorraine et le Luxembourg, un appoint sérieux mais indirect au commerce des phosphates. Cette oolithe, dite minette, fait en effet partie d'une zone ferrugineuse remarquablement étendue qu'on suit depuis l'Ardèche jusqu'au Luxembourg, qu'on retrouve aussi en Angleterre, et dont l'exploitation alimente la métallurgie du fer dans la Moselle et le Cleveland. Or les minerais de cet étage renferment jusqu'à 1 p. 100 d'acide phosphorique que le procédé de déphosphoration au convertisseur basique permet d'isoler dans des scories ferromagnésiennes.

Ces scories, qui renfermaient en principe 10 à 11 p. 100 d'acide phosphorique, mais que les usines pouvaient livrer à très bon compte, ont commencé à être essayées comme engrais, non sans quelque défiance, vers 1885. En 1886, sur 50 000 tonnes de scories produites en France, on n'en vendait que 13 000. Mais, cette même année, l'Angleterre et l'Allemagne en consommaient déjà 100 000. On craignait que l'acide phosphorique contenu ne fut pas suffisamment assimilable, que la forte proportion de fer contenu ne fût nuisible, etc. Depuis, l'expérience a montré l'excellent effet de ces scories finement moulues sur les sols sablonneux, glaiseux et tourbeux où, en outre du phosphore, elles apportent de la chaux. En même temps, les usines, en trouvant le placement, sont arrivées à fabriquer couramment des scories à 17 p. 100 d'acide phosphorique qui se vendent environ 40 francs.

F. TERRAIN JURASSIQUE

Les différents étages du terrain jurassique renferment, presque tous, des phosphates de chaux en quantités assez considérables, mais généralement à un état de dissémination qui s'oppose à leur exploitation industrielle. Nous citerons, dans le Calvados et l'An-

jou, l'oolithe bajocienne. Dans le même étage, M. de Grossouvre a signalé également des phosphates aux niveaux de l'Ammonites Niortensis (Saint-Maixent, Niort), de l'Ammonites Zigzag (Niort et Crussol (Ardèche), et dans les couches du callovien supérieur à Ammonites Duncani (Cher, Nièvre). Le callovien contient de même des phosphates en Franconie. Enfin, l'on trouve dans l'oxfordien un niveau de phosphates indiqué successivement par M. Douvillé dans le Cher [1], et par M. de Grossouvre dans la Nièvre [2].

G. TERRAIN CRÉTACÉ

Le phosphate de chaux est particulièrement abondant dans le terrain crétacé; on le rencontre presque à tous les étages de cette formation, soit à l'état de nodules, soit à l'état de craie phosphatée.

Néocomien. — On a signalé du phosphate dans les marnes du néocomien inférieur de Monte-Reale (Portugal) et du comté de Sussex (Angleterre).

On a également mentionné des nodules de phosphate de fer hydraté renfermant 16 p. 100 d'acide phosphorique, trouvés dans les sables à lignites du néocomien de Fouchères (Aube).

Albien. — Mais l'étage le plus riche en phosphate est certainement l'albien qui comprend, en France, à sa partie inférieure, les *sables verts* d'Elie de Beaumont, et, au sommet, le *gault* et la *gaize* qui affleurent sur la presque totalité du pourtour du bassin de Paris, et principalement sur son bord oriental dans les Ardennes et dans l'Argonne.

Les *sables verts* (zone à Ammonites Mamillaris) sont l'objet d'une exploitation assez importante dans les Ardennes (9 000 tonnes

[1] Douvillé. *B. S. G.*, 3e série, t. II, p. 103.

[2] De Grossouvre. *B. S. G.*, 2e, t. XV, p. 707, 1878, et Statistique de 1886, p. 274. Voir en outre sur les phosphates du Cher :

1858, Guéranger. Bull. de la Soc. des sciences de l'Yonne.

1885, De Grossouvre. Etude sur les gisements de phosphate de chaux du centre de la France. (*Ann. des M.*, mai, juin 1885, et *B. S. G.*)

valant 240 000 francs en 1886, 380 ouvriers et une étendue de 235 hectares); dans la Meuse (1 000 tonnes valant 40 000 francs; 30 ouvriers); dans l'Ardèche ; la Drôme (7 000 tonnes valant 200 000 francs; 120 ouvriers; étendue : 208 hectares); Vaucluse, etc...

PHOSPHATES DES ARDENNES[1]

Vers 1845, des dépôts importants de phosphate de chaux avaient été découvert à la base du terrain crétacé. S'inspirant de cette découverte, M. Meugy, inspecteur général des mines, entreprit l'exploration du terrain crétacé dans le Nord de la France et, en 1852, y retrouva les phosphates dans les sables verts. Une exploitation fut organisée en 1855 près de Grandpré (Ardennes), et se développa peu à peu.

L'épaisseur des sables verts varie de 25 à 45 mètres; leur horizontalité est très grande. Le phosphate s'y rencontre ordinairement sous forme de rognons arrondis, lisses ou mamelonnés, dont la grosseur varie de celle d'une noix à celle du poing; ils sont compacts, grisâtres ou brun verdâtre à la surface, et offrent fréquemment des reflets métalliques dans leur cassure; leur dureté est généralement supérieure à celle du calcaire. Tantôt ils sont isolés dans le sable, tantôt ils sont soudés les uns aux autres, et même, dans le canton de Vaubécourt, ils forment une masse continue à contours irréguliers intercalée dans les sables verts.

L'épaisseur de la couche est toujours faible, d'ailleurs assez variable; elle descend rarement au-dessous de 5 centimètres et ne s'élève guère au-dessus de 25 centimètres. La production varie de 500 à 1 400 tonnes par hectare.

Les nodules ont une densité très variable, en moyenne de 2,70. Le poids du mètre cube est de 1 350 à 1 600 kilogrammes. Ils sont formés par du phosphate de chaux, du carbonate de chaux, du sable vert, de l'argile, de l'oxyde de fer et des matières organiques. La richesse moyenne est de 18 p. 100 d'acide phosphorique ou de 39 p. 100 de phosphate de chaux.

[1] Statistique de 1886, p. 280.

L'extraction se fait, tantôt à ciel ouvert par tranchées successives, analogues à celles que nous avons décrites dans l'Auxois, tantôt par travaux souterrains. Dans ce dernier cas, on creuse généralement une série de petits puits de 1 mètre de diamètre jusqu'à une profondeur de 50 à 60 centimètres au-dessous de la couche de nodules, et, à partir de ces puits, on mène des galeries s'étendant à droite et à gauche sur une surface totale de 200 à 250 mètres carrés qu'on peut dépiler en un mois.

La grande continuité du gisement a permis de donner quelque développement à ces travaux.

PHOSPHATES DE LA DROME[1]

(Saint-Paul-Trois-Chateaux)

Les sables verts renferment dans la Drôme, sur les communes de *Saint-Paul-Trois-Châteaux* et de *Clansayes*, un gisement de phosphate de chaux dont on peut estimer la surface totale à 100 hectares. Ce gisement, exploité depuis 1868, fournit environ 7 à 8 000 tonnes de phosphates par an. Les nodules se présentent, non suivant une couche unique, mais suivant une série de lits, d'épaisseur très variable, échelonnés sur une hauteur totale de 6 à 12 mètres. — Les sables albiens, reposant sur la marne aptienne, sont entièrement composés de graviers et de sables quartzeux à grains arrondis, très meubles. On les exploite par galeries et à ciel ouvert. La teneur du phosphate est, après détourbage, de 38 à 55 p. 100 de phosphate tribasique.

Dans l'Ardèche, le même niveau est exploité sur la commune de Viviers[2], notamment à *Saut-de-l'Egue*. La superficie à Saut-de-l'Egue est d'environ 40 hectares. On admettait, en 1886, qu'il en avait été extrait 10 000 tonnes et qu'il restait à en prendre 50 000 tonnes. Les conditions de gisement sont analogues à celles de l'Ardèche.

Au-dessus des grès verts, l'*argile du Gault* renferme fréquem-

[1] Statistique de 1886, p. 265.

[2] Statistique, p. 266.

ment des phosphates, en particulier dans le Boulonnais et aux environs de Bellegarde (Ain)[1].

PHOSPHATES DU BOULONNAIS[2]

Les phosphates du Boulonnais ont d'abord été exploités, il y a une trentaine d'années, auprès de Marquise. De 1877 à 1883, la production annuelle s'est maintenue à 20 000 tonnes; mais, vers cette époque, la découverte des phosphates riches de Mesvin-Ciply (Belgique) a commencé à faire diminuer la production et, plus récemment, la mise en valeur des gisements de Beauval (Somme) et d'Orville (Pas-de-Calais), gisements plus riches et d'une exploitation plus facile, leur a porté un coup fatal.

Le bas Boulonnais forme une région nettement caractérisée par son sol jurassique ayant la forme d'un triangle équilatéral de 30 kilomètres de côté, dont la base est constituée, le long de la mer, par des falaises crayeuses. Entre ces falaises crayeuses et le jurassique, se trouve le banc de gault, formé, à la partie supérieure, d'argile plastique noire ou grise très compacte (argile de Folkestone), épaisse de 3 à 4 mètres et, au-dessous, d'une couche de sable vert glauconieux, souvent aquifère, épaisse seulement de quelques centimètres. C'est entre l'argile et le sable vert que se trouve le banc de nodules phosphatés d'une épaisseur allant jusqu'à 15 centimètres, mais se réduisant le plus souvent à 4 ou 5 centimètres, ou même disparaissant tout à fait.

Les nodules, empâtés dans l'argile très tenace du gault, sont formés, soit de concrétions amorphes, soit surtout de débris fossiles, parmi lesquels dominent des ammonites (Ammonites Mamillaris, Interruptus, Inflatus, Latus et Dentatus; Belem. Minimus; Arca Camiata et Glabra; Ostrea Arduennersis).

On évalue l'étendue du gisement à 600 hectares. Le mètre cube extrait contient en moyenne 400 kilogrammes de nodules lavés :

[1] 1871, Grüner. Sur les nodules phosphatés de la perte du Rhône. (*B. S. G.*, 2e, XXVIII, 62.)

[2] Statistique, p. 243.

ce qui donne, pour l'ensemble, 440 000 tonnes de phosphate de chaux (dont 200 000 étaient enlevées en 1886).

Le mode d'exploitation consiste, soit en tranchées à ciel ouvert de 8 à 10 mètres de long et de 4 mètres de larges, semblables à celles de l'Auxois, soit en galeries souterraines atteignant au maximum une profondeur de 18 mètres.

Le prix de revient sur place est, en moyenne, de 20 francs par tonne de nodules lavés. Le nombre des ouvriers employés était, en 1886, de 300. La composition est :

Acide phosphorique	21,00
Acide carbonique et matières organiques	10,00
Chaux	31,40
Oxyde de fer	1,90
Alumine	1,87
Magnésie	1,23
Corps insolubles (quartz, etc.)	31,65
Eau	1,52

On a émis l'avis que l'origine, peut-être organique, de ces phosphates pouvait les rendre particulièrement propres à l'assimilation directe comme engrais, par diffusion à l'état de poudre sur le sol.

Hors de France, l'étage albien renferme des gisements considérables de phosphate de chaux, surtout dans l'Allemagne du Nord, en Bavière, en Suisse (Vaud, Schwitz, Appenzell), en Angleterre, en Russie, en Tunisie, etc. Nous dirons d'abord quelques mots de ceux qui se trouvent en Angleterre, dans le Yorkshire, le Sussex, le Surrey, le Kant et notamment dans les comtés de Bedford et de Buckingham; puis nous étudierons ceux de Russie.

PHOSPHATES DE CHAUX ANGLAIS

DU WEALDIEN ET DU CRÉTACÉ

Dans la région des Alpes, les dépôts infracrétacés, succédant sans interruption aux assises oolithiques, offrent, comme ces dernières, un caractère exclusivement marin. Au contraire, dans le Sud de l'Angleterre, l'émersion d'un continent s'annonce par

les couches saumâtres et d'eau douce du Purbeck et s'accuse, pendant le crétacé inférieur, par des faciès absolument terrestres. C'est un fait surtout caractérisé dans la région dite le Weald, sur les territoires de Kant et de Sussex : d'où le nom de formation wealdienne donné au néocomien anglais.

Au-dessus de ces couches exclusivement d'eau douce, viennent des terrains de sables et argiles verts connus sous le nom d'ensemble de grès vert (greensand) et se subdivisant en lower greensand (grès vert inférieur) ou aptien, gault (albien) et grès vert supérieur (upper greensand) représentant la base du rotomagien, au-dessous de la craie chloriteuse.

Le grès vert inférieur est considéré comme une formation marine littorale déposée en des eaux agitées ; le gault (argile de Folkestone) est représenté, comme dans le Boulonnais, par une argile noire ou bleue très tenace et remarquablement fossilifère ; enfin le grès vert supérieur est un sable micacé et glauconieux, argileux à la base.

Chacun de ces trois niveaux : grès vert inférieur, gault et grès vert supérieur, renferme, dans les comtés de Bedford et de Cambridge, un banc de nodules phosphatés.

La coupe générale est la suivante :

Niveau du phosphate de Suffolk.	
Argile de Londres (Éocène inférieur).	
Calcaire blanc	500 mètres.
Marne.	30 —
Phosphates d'Ely.	
Gault	60 mètres.
Phosphates de Boulogne et Folkestone.	
Lowergreensand	500 mètres.
Phosphates de Sandy.	
Weald.	
Oolithe	

Le gisement le plus important est peut-être celui des environs de *Sandy*, dans le Bedfordshire.

Les bancs de phosphates, compris entre deux couches de sable à la base du lowergreensand, ont de $0^m,50$ à $0^m,60$ d'épaisseur. Les nodules sont incrustés par un sable ferrugineux assez dur ; ils

sont de toutes formes, généralement de section brune ou noire, contiennent fréquemment des fossiles et sont assez irrégulièrement répartis. On a remarqué qu'à peu près la moitié de ces fossiles venaient des terrains inférieurs : en particulier, des ammonites du portlandien, des os d'iguanodon et de megalosaurus du Weald et du Purbeck, des restes de poissons du Kimmeridgien. Cela semblerait une preuve assez nette que le phosphate ne provient pas de ces restes organiques puisque les mêmes fossiles, dans leurs couches originelles, ne sont pas phosphatés, mais qu'il existait dans la mer pour une cause quelconque et s'est simplement concentré sur eux de la même manière que la pyrite de fer.

Dans le Nord du *Cambridge* (c'est-à-dire au N.-E. du gisement précédent) près d'*Ely*, le niveau de phosphates exploité est, au contraire, à la partie supérieure du Gault. Ce sont aussi des nodules irréguliers, de surface parfois verte, de cassure toujours brune et contenant également des fossiles ou des os enlevés aux terrains précédents.

Enfin, pour terminer ce qui est relatif à l'Angleterre, nous citerons de suite, au-dessus de l'argile de Londres (London clay), c'est-à-dire dans l'éocène inférieur, les phosphates de *Suffolk*, moins estimés dans le commerce que ceux de Sandry à cause de leur teneur plus forte en oxyde de fer et de leur dureté plus grande.

Les phosphates de ces trois régions de Bedford, Cambridge et Suffolk donnent lieu à un commerce important.

Généralement les conditions sont les suivantes :

L'entrepreneur paye au propriétaire du sol 2 500 à 3 500 francs par acre. Le rendement est d'environ 300 tonnes (à 60 francs la tonne) par acre. Si l'on tient compte des frais d'exploitation et de lavage, on voit que le bénéfice est très minime ; aussi cette industrie est-elle en déclin, comme le montre la statistique :

	Tonnes	Valeurs
1875	250 000	1 320 000
1876	258 000	1 315 000
1877	69 000	500 000
1878	54 000	380 000
1879	34 000	184 000
1880	30 000	178 000
1881	31 500	216 000

Bibliographie des phosphates anglais.

1875. Brodie. — On a deposit of phosphatic nodules on the Lower greensand of *Sandy*. (Bedforshire.)
1875. Harris Teall. — The Potton and Wicken Phosphate deposits. (Cambridge. Deighton, Bell and C°.)
1886. Harry Seeley. — Rock of the Cambridge greensand. (*Geolog. Magaz.*, 1886, p. 302.)
Rev. de Fisher. — On the phosphat. nodules of Cambridgeshire. (*Q. J. g. soc. Lond.*, t. XXIX, p. 52.)
1888. Davies, p. 146,
1888. Penrose. — Phosphate of lime, p. 84.

PHOSPHATES DE RUSSIE[1]

En *Russie* également, la craie inférieure forme une bande immense qui s'étend d'Orel jusqu'à Woronèje, en passant par Kharkhow, puis longe le Volga jusqu'à Saratow; elle est couverte de limons noirs d'une extrême fertilité et renferme plusieurs niveaux de nodules de phosphate de chaux (Samorod). Nous insisterons un peu, à ce propos, sur les divers gisements de phosphates russes qui paraissent appelés à jouer un rôle important dans l'avenir et sont encore assez mal connus.

Généralités. — Les premières recherches de phosphates furent faites en Russie, vers l'année 1866. Depuis longtemps, on connaissait aux environs de Koursk, dans la Russie centrale, une pierre noirâtre appelée « Samorod », qui servait de pierre de construction et de pavage. On l'avait prise d'abord pour du grès ferreux, mais MM. Khodnew, Clans, et autres reconnurent que cette pierre était une agglomération de rognons de phosphorite réunis par un ciment calcaire et ferrugineux.

Depuis, on a constaté que la Russie contenait des gisements de phosphate énormes, embrassant plusieurs millions d'hectares.

Géologie. — Les gîtes de phosphates de Russie se rencontrent

[1] Coll. Ecole des Mines, 1852.

généralement dans les assises du terrain crétacé, correspondant, soit à la formation du grès vert, soit à l'étage cénomanien ; quelques-uns, d'importance secondaire, ont été signalés en outre dans les terrains jurassique, tertiaire et même silurien.

Dans le terrain crétacé, le phosphate est situé sous la craie blanche, ou bien au-dessous du grès vert, encaissé dans une masse de sable verdâtre, contenant beaucoup de grains de glauconie. Quelquefois, c'est à la surface du sol, disséminés dans la terre arable, qu'on trouve les nodules.

Le nombre des couches de phosphate dans un gisement varie de une à trois; quelques gisements en ont présenté jusqu'à sept. L'épaisseur des couches principales est de 15 à 50 centimètres.

Les dépôts, au point de vue de leur formation, peuvent se diviser en deux catégories que nous avons déjà rencontrées dans la plupart des gîtes phosphatés :

1° Les dépôts primaires, ayant pris naissance à la place où ils sont aujourd'hui;

2° Les dépôts de formation secondaire, résultats d'une concentration produite sur les premiers par l'action des eaux.

Aspect et composition du phosphate. — Suivant les gisements, le phosphate affecte des allures différentes. A Koursk, il apparaît en dalles; ailleurs, il forme des blocs massifs presque analogues à des pierres de tailles; enfin on le trouve en rognons, soit épars, soit agglomérés et réunis par une sorte de ciment.

D'ordinaire, la densité des nodules varie de 2,6 à 2,9. Ils tiennent : du phosphate de chaux, du carbonate de chaux, une quantité variable de fer, de phosphate d'alumine et de magnésie, du fluorure de calcium et du sulfate de chaux; les alcalis s'y trouvent en quantité insignifiante.

Au contact des acides et à la suite de chocs redoublés, les échantillons de phosphate dégagent tous une odeur de résine ou de naphte. Ils renferment, en effet, une matière noire organique, peu étudiée encore et des gangues argileuses ou sableuses.

Par rapport à leur gangue et à la richesse des échantillons qui correspond à la nature de ces gangues, on les divise en :

1° *Nodules siliceux*, friables et légers, *pauvres en phosphate*, et

se reconnaissant surtout à leur couleur grisâtre et à leur apparence sablonneuse.

2° *Nodules argileux*, d'un noir de résine, ou, rarement, d'un gris d'ardoise, lisses, à reflet métallique, d'une cassure plate et luisante, *très riches en phosphate* et d'une densité considérable; ils n'ont qu'un faible résidu insoluble.

3° *Nodules argilo-siliceux*, tenant le milieu entre les précédents, d'une richesse moyenne et formant la plus grande partie des roches phosphatées en Russie.

Les trois analyses suivantes se rapportent chacune à une variété nette de ces nodules :

	Partie insoluble	Partie soluble	PhO^5	CO^2	CaO	
1° Nodule siliceux de Sparsk.	59,70	40,30	12,63	1,98	18,54	
2° Nodule argileux de Sparsk.	9,50	90,50	28,48	3,90	42,00	p. 100.
3° Débris de roche de Tambow (Argile et sable).	35,50	64,50	20,60	»	29,07	

Description sommaire des gîtes. — Au point de vue de la répartition géographique, les gîtes de phosphates de chaux de Russie se divisent en :

A. Zone phosphatée centrale; *B*. zone phosphatée orientale; *C*. gisements isolés.

A. ZONE PHOSPHATÉE CENTRALE

Le terrain crétacé forme, dans la Russie centrale, une sorte de bassin. C'est surtout du côté Nord que se trouvent les gisements les plus importants. Ces gisements s'étendent sans interruption des rives de la Desna aux rives du Don; cette ligne principale d'affleurements a 600 kilomètres de longueur sur une largeur variable de 100 à 150 kilomètres.

a. **Gisement de Roslawl.** — Ce district est dans la partie occidentale de la zone centrale, dans le gouvernement de Smolensk. Les couches contenant les gîtes apparaissent à la surface du sol; les nodules peu profonds sont dans un sable meuble gris verdâtre;

ils présentent les deux variétés, siliceuse et d'un gris verdâtre, argileuse et d'un noir terreux.

Fig. 59. — Carte des gisements phosphatés de Russie.

Leur analyse donne en moyenne :
pour les nodules sablonneux, 31,48 p. 100 de phosphate de chaux ;
pour les nodules terreux, 56,16 p. 100.

b. **Gisement Briansk-Orel.** — Ce gisement est à l'Est du premier. L'analyse donne en moyenne :

	Ins.	Sables et argiles	CaO	MgO	FeO	PhO^5	$CaoPhO^5$	
Matières organiques.	0,50	48,25	24,35	0,45	0,65	15,40	33,36	p. 100.

La région phosphatée est traversée par une chaussée pavée au moyen de la pierre noire ; les propriétaires avoisinants ramassent la boue et la poussière de la route pour l'amendement de leurs terres.

c. **Gisement de Koursk**. — Ce gisement est la continuation des deux premiers. Il forme un immense bassin se reliant à l'Est aux gîtes de Woronège. Le phosphate, entre les bassins du Don et du Dniepr, est à 230 mètres au-dessus du niveau de la mer; près de Koursk, il n'est plus qu'à 140 mètres; plus au Sud, il disparaît sous des assises de marne et de craie d'une grande épaisseur, pour reparaître à la limite opposée du bassin crétacé dans le gouvernement de Kharkow. A Koursk, le phosphate est sous forme de dalles ou d'une couche de pierre de taille ayant 2 décimètres d'épaisseur, plate et lisse en haut, rugueuse en dessous, et continuée par des rognons et nodules s'enfonçant dans le sable servant de lit. Ces couches contiennent un grand nombre de restes d'animaux et des débris fossiles. Les carrières, exploitées depuis longtemps pour pierre de construction et de pavage, donnent 12 à 15 mille tonnes métriques de pierre à l'hectare, et, en adjoignant les nodules épars et fragments non utilisés, la richesse des couches de phosphate de la région est, paraît-il, au moins de 25 000 tonnes à l'hectare.

La région phosphatée présente la succession de couches suivante qui est la même, à peu de chose près, que dans les deux gisements précédents. Au-dessous de la terre végétale, on voit apparaître des assises de marne argileuse; au-dessous, la craie blanche; puis une couche de marne siliceuse, contenant déjà des nodules; vient enfin la couche principale de phosphate de $0^m,15$ à $0^m,30$: les nodules y sont entremêlés de sable verdâtre. On trouve quelquefois plusieurs couches superposées séparées par des couches de sable.

L'analyse donne :

	Ins.	PhO^5	MgO	CaO	$CaoCo^2$	$CaoPhO^5$	Fe^2O^3HO	
Koursk. .	54,10	14,25	0.24	29,85	»	30,87	0,30	} p. 100.
Kotarvetz.	16,97	27,24	»	»	11,62	59,01	»	

La moyenne de phosphate de chaux de ces gisements est de 38,71 p. 100.

d. **Gisement de Woronège**. — Sur les bords du Don reparaissent la craie blanche et les roches du gisement de Koursk; le gisement de Woronège est en tout semblable au gisement précédent, le

sable servant de lit au phosphate est seulement plus foncé et tient une masse de parcelles minces de mica.

L'analyse donne :

	Ins.	PhO^5	$OCaPhO^5$	$CaOCO^2$
Yendowistsche.	50,45	13,70	29,92	14,71
—	43,29	18,54	40,47	10,38
Moyenne.	45,49	14,54	39,16	»

B. ZONE PHOSPHATÉE ORIENTALE

(RÉGION DU GRÈS VERT)

Dans cette région, au Sud de Woronège, s'étend un steppe vaste et uni. Les terrains récents, les glaises et roches tertiaires, prennent un grand développement. Le manque absolu des fossiles rend l'étude géologique difficile. Plus loin, les étages inférieurs de la formation crétacée viennent à la surface ; la craie blanche disparaît jusqu'aux rives de la Volga; c'est le grès vert et les roches chloritées qui remplacent les calcaires de la zone précédente.

a. **Gisement de Tambow.** — Le phosphate est sous une couche de grès vert à grains de glauconie et à parcelles de mica tenant également de l'acide phosphorique. En haut, est un banc de nodules, terminé à la base par une couche de blocs concrétionnés de phosphate. Au-dessous, est un sable meuble, d'un brun verdâtre, contenant des phosphates et des nodules. La couche principale a un développement remarquable, offre $0^m,60$ d'épaisseur et consiste en dalles, en blocs et en nodules épars; elle peut livrer 60 000 tonnes de minerai à l'hectare. C'est le plus riche gisement connu de Russie.

L'analyse donne :

	Ins.	PhO^5	$CaOPhO^5$	
Bytscki	51,82	14,83	32,88	p. 100.
—	13,03	28,26	61,70	

La moyenne de la teneur en phosphate de chaux est de 44,04 p. 100.

b. **Gisement de Sparsk.** — Les couches de phosphate, d'une épaisseur de $0^m,35$ à $0^m,40$, reposent sur un sable brun verdâtre. Sou-

vent les couches de nodules affleurent ; jamais elles ne sont bien profondes. Le phosphate n'apparaît dans cette région qu'en nodules et rognons ; beaucoup de ces rognons sont mêlés à des débris de pierres erratiques, de granite, de gneiss et ont été probablement apportés par les eaux sans que leur origine primordiale soit connue.

L'analyse donne :

	Ins.	PhO^5	$CaOPhO^5$
Sparsk n° 1.	16,28	12,19	26,61
Bogdanowska.	9,44	30,79	67,42

La moyenne de la teneur en phosphate de chaux dans les nodules de cette région est de 47,39 p. 100. Les gisements sont favorables à l'exploitation, mais le transport serait difficile, les centres commerciaux étant très éloignés et les moyens de communication primitifs.

c. **Gisement de Saratow.** — Un lit de phosphate, en tout semblable à ceux du gisement central, a été découvert dans le terrain crétacé de Saratow près des rives de la Volga. La couche de phosphate, de $0^m,30$ d'épaisseur, repose, dans du sable verdâtre, au-dessous d'une forte couche de craie blanche, dont la masse tient de nombreux nodules disséminés. Les nodules sont d'un beau noir, à cassure terreuse et contiennent 17 p. 100 d'acide phosphorique ou 32 p. 100 de phosphate de chaux. La couche s'étend sans interruption et dans des conditions uniformes sur plus de 40 kilomètres ; elle abonde en débris organiques.

C. GISEMENTS ISOLÉS

Outre ces deux bassins, il existe nombre de gisements isolés moins considérables, mais également très riches.

a. **Nijni-Nowgorod.** — Le terrain jurassique de ce gouvernement contient des nodules friables, grisâtres, à cassure terreuse, d'une teneur moyenne de :

Ins.	CO^2	$CaOCO^2$	PhO^5	$CaOPhO^5$
2,24	7,29	16,56	27,54	59,66

b. **Moscou.** — Les phosphates sont dans le terrain crétacé, subordonnés à la craie blanche et au grès vert.

Ins.	PhO^5	$CaOPhO^5$
42,63	16,55	96,11

c. **Kiew.** — Aux environs de Kiew, on trouve les phosphates dans un terrain tertiaire à une profondeur considérable. Ce gisement montre un dépôt de phosphate contenant des restes d'animaux indubitablement de l'époque crétacée reposant dans une couche d'argile évidemment tertiaire.

d. **Grodno.** — Ici le phosphate forme une couche de $0^m,20$, non pas au-dessous, comme ailleurs, mais au-dessus de la craie blanche, entre celle-ci et la marne qui la recouvre.

e. **Podolie.** — Dans les schistes siluriens subordonnés à des schistes marneux et calcaires de l'époque crétacée, on a trouvé des concrétions sphériques à structure fibreuse et radiée, tenant un noyau interne de calcite, d'une teneur moyenne de 75 p. 100 de phosphate de chaux, variant de la circonférence au centre dans les échantillons.

f. **Autres gisements.** — On a encore signalé la présence de phosphates, non exploités jusqu'ici, à Yaroslaw, à Saint-Pétersbourg, à Nowgorod. La plupart des derniers gisements énumérés, tout en étant très riches en phosphates, ne peuvent être utilisés industriellement, en présence de l'existence des deux grands bassins de phosphates précédemments décrits.

Résumé. Evaluation de la richesse des gisements. — M. Yermoloff, auteur d'un mémoire sur les phosphates russes, auquel nous avons emprunté la plupart des renseignements précédents, a essayé d'évaluer la richesse en phosphates de la Russie. Les gisements de la zone centrale, Smolensk, Orel, Koursk et Woronège, ne renferment pas moins, d'après lui, de 15 à 20 000 tonnes de minerai à l'hectare ; ceux du gouvernement de Tambow pourraient en fournir de 30 à 60 000. En admettant que la tonne ne

tienne que 160 kilogrammes d'acide phosphorique ou 350 kilogrammes de phosphate de chaux, on aurait donc une moyenne de 10 à 20 000 tonnes de phosphate de chaux par hectare, et cela sans tenir compte des nodules épars et des veines secondaires.

L'étendue sur laquelle s'étendent ces gisements est, de plus, considérable. Nous avons vu que, pour la zone centrale, on connaissait les phosphates sur 600 kilomètres de long et 100 à 150 kilomètres de large. Or l'étude de la partie orientale montre que le lit phosphaté existe, à une plus ou moins grande profondeur, dans toute cette partie, et que les affleurements constatés dans les diverses localités de cette région ne forment que des points de repère d'un gisement immense encore inexploré et qui se poursuit peut-être sans interruption des bords de la Ina jusqu'aux rives de la Volga.

On voit que la Russie renferme, de ce chef, des richesses considérables qui ne demandent sans doute que la création de moyens de transport faciles et de débouchés pour être mises en valeur.

Bibliographie.

1850. Kiprianow. — (Gazette de Koursk.)
1861. Solski. — (Revue agricole.)
* 1873. Yermolow. — Recherches sur les gisements de phosphate de chaux fossile en Russie. (Saint-Pétersbourg.)
1878. Les richesses minérales de la Russie d'Europe, p. 29.
Davies, p. 157.
1888. Penrose. — Phosphate of lime, p. 112.[1]

PHOSPHATES DE PERNES ET DE FAUQUEMBERGUES (Cénomanien) [1]

Dans le Nord de la France, les assises inférieures de la craie sont extrêmement amincies; elles se réduisent à une couche d'argile glauconieuse, — surmontant parfois un conglomérat aquifère (torrent d'Anzin), — à laquelle on a donné le nom de *tourtia*. Ce tourtia,

[1] Statistique, p. 249.

dans la région des mines de houille, ne contient guère de phosphate de chaux ; il est constitué par un poudingue dont les éléments, empruntés au terrain ancien (houiller, carbonifère et dévonien), sont cimentés par des marnes glauconifères que les mineurs appellent *dièves*. Du côté de Pernes, au contraire, le tourtia renferme une couche compacte de phosphates d'une épaisseur atteignant parfois un mètre.

A cet endroit, la coupe est la suivante : sous 50 centimètres de terre végétale, on rencontre d'abord la craie fendillée à silex et la craie marneuse, puis une certaine épaisseur de marne compacte, sous laquelle viennent les sables verts et les glauconies, et enfin le banc de nodules de 15 centimètres à 1 mètre ; entre ce banc de nodules et le *thun* (schistes violacés de Dennebrœuk excessivement durs, appartenant au terrain dévonien) se trouve un lit d'argile de 5 à 30 centimètres d'épaisseur, représentant tout l'étage du gault à Pernes.

L'étendue exploitable du gisement de *Pernes* est évaluée à environ 210 hectares, représentant à peu près 450 000 tonnes de phosphates lavés.

Les travaux ont commencé vers 1877 ; la production était, en 1886, de 12 600 tonnes valant 630 000 francs.

Ces phosphates ne sont pas durs et porcelainés comme ceux du gault, mais poreux et très friables. Ils sont, en outre, très riches en acide phosphorique (23 à 25 p. 100) ; leur teneur en potasse atteint 4,5 p. 100 et celle en matières organiques 3 p. 100.

En dehors du bassin de Pernes, on peut encore mentionner une petite couche de nodules noirs et brillants, située à la partie inférieure du cénomanien dans la bordure orientale du bassin parisien et développée notamment à l'Ouest de l'Argonne. Elle se retrouve dans la Sarthe et dans le Cambridgeshire en Angleterre. Sa puissance est toujours faible (15 à 20 centimètres seulement) ; mais elle est quelquefois utilisée à ses affleurements à cause de la pureté plus grande de ses nodules dont la teneur oscille entre 50 et 55 p. 100.

PHOSPHATES TURONIENS

La craie turonienne ne renferme que rarement les phosphates à l'état de nodules isolés, mais elle est phosphatifère dans son ensemble, et la plupart des couches crayeuses à Inocéramus labiatus contiennent, dans le Nord de la France et dans la Sarthe, une proportion de phosphate de chaux qui va jusqu'à 2 et même 3 p. 100.

Nous dirons, à ce propos, quelques mots sur les divers niveaux de phosphates constatés dans la Sarthe, niveaux intéressants, quoiqu'ils ne soient pas exploités, parce qu'ils montrent l'existence du phosphate dans des terrains où on ne le connaît guère ailleurs.

PHOSPHATES DU DÉPARTEMENT DE LA SARTHE

Dans le département de la Sarthe, le gault manque, et les phosphates qu'on trouve appartiennent au terrain crétacé.

Le premier dépôt, du *terrain sénonien*, se trouve à Saint-Paterne, Dissay et Château-du-Loir. Les nodules, de grosseur variable, sont verdâtres en dessus ; l'intérieur est blanc, avec points de glauconie.

Le second dépôt, du *haut du turonien*, près de Connerré, a été découvert dans une tranchée du chemin allant de Duneau à la ferme du Grand-Croisé. Cette tranchée offre la succession suivante :

1° Sables quartzeux avec blocs de grès à pavés . . .	3m,	»
2° Sables à silex.	3	»
3° Argile glauconieuse à silex.	0	20
4° Craie noduleuse à O. auricularis	2	50
5° Craie noduleuse à O. Columba	0	60
6° Craie sableuse à bryozoaires avec silex.	2	»
7° Banc de nodules avec O. Columba.	0	45
8° Craie blanche sableuse à bryozoaires et à Terebratella Bourgeoisi.	1	50

Dans ce dépôt, les nodules sont très gros, de près de un kilo-

gramme souvent, à surface verte avec glauconie à l'intérieur; ils sont pauvres en acide phosphorique.

Le troisième dépôt a été trouvé près du Mans, au-dessus du banc appelé jalais, qui est très connu par ses nombreux fossiles. Les nodules sont dans des sables fins micacés, leur surface est peu nette, ils se fondent dans la masse du sable ou du grès, semblent riches, mais sont peu abondants.

Le quatrième dépôt a été trouvé à la Ferté-Bernard, etc. Les nodules sont généralement empâtés dans les couches à O. vesiculosa. On les trouve pourtant aussi en bancs. Cet horizon est le plus important des quatre; les nodules sont verdâtres à la surface, mais deviennent blancs après exposition à l'air; l'intérieur est noir verdâtre; ils sont abondants, quelquefois gros comme le poing et assez riches.

Bibliographie.

1872. Guillier. — Sur les couches à phosphates de chaux découvertes dans la craie de la Sarthe. (*B. S. G.*, 2e, t. XVII, p. 157.)

PHOSPHATES SÉNONIENS DE BEAUVAL (Somme) ET D'ORVILLE (Pas-de-Calais) [1]

La découverte industrielle du gisement de phosphate riche de Beauval (arrondissement de Doullens dans la Somme) ne date que du mois de mai 1886. Depuis ce moment, des sondages innombrables ont été pratiqués dans les environs et ont amené, dès l'année 1886, la rencontre de plusieurs autres gisements semblables, notamment celui d'Orville (arrondissement d'Arras) qui fut bientôt reconnu comme aussi important que celui de Beauval, puis tout récemment ceux des environs de Liège, etc.

Actuellement les principaux gîtes exploités sont, sur les deux anticlinaux de l'Authie et de la Bresle (voir plus loin, fig. 60) :

[1] Coll. *École des Mines*, 1860 et 1861.

Au Nord-Ouest et au Nord d'Auxi-le-Château, Haravesnes, Bachimont, Buire-au-Bois et Nœux (Pas-de-Calais) ;

Au Sud et Sud-Ouest de Doullens, Beauval, Beauquesne, Terramesnil (Somme), Orville (Pas-de-Calais), Raincheval, Puchevillers et Toutencourt (Somme) ;

Au Sud-Ouest d'Albert, Ribemont-sur-l'Ancre ;

Entre Bray-sur-Somme et Péronne, Suzanne, Frise, Curlu, Hemmonacu, Bouchavesnes ;

Au Nord-Est de Péronne et vers Roisel, Templeux (Somme), Hargicourt, Méricourt et Etaves (Aisne) ;

Plus au Sud, Hardivilliers et Breteuil (Oise).

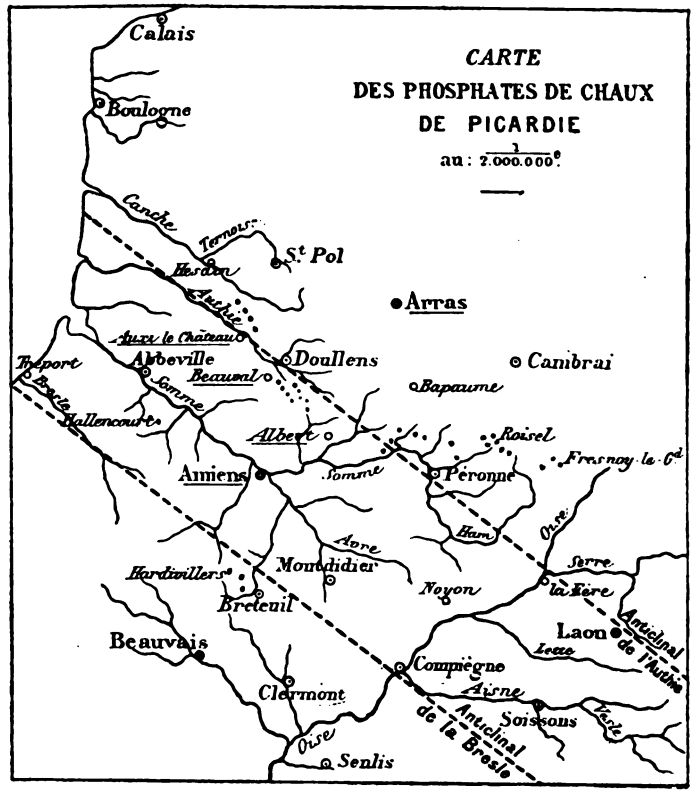


Fig. 60.

L'histoire de cette industrie des phosphates riches est la suivante :

Dès 1849, M. Buteux les avait signalés ; mais, n'ayant fait ana-

lyser que certains noyaux durs contenus dans le phosphate sableux, n'avait trouvé que 13,5 d'acide phosphorique. En 1863 et 1867, M. de Mercey les décrivit de nouveau comme exploitables. Enfin, en 1886, M. Mesle, géologue, ayant analysé un sable employé depuis longtemps pour donner aux briques une patine violette, y trouva 78 p. 100 de phosphate de chaux.

Ces phosphates d'Orville, de Beauval, etc., se trouvent à l'état de sable dans des poches plus ou moins régulières pratiquées dans les assises supérieures de la craie. Ils sont recouverts d'une épaisseur variant de quelques centimètres à plusieurs mètres d'une argile rousse contenant des silex roulés et appelée *bief à silex.* Cette argile a été considérée comme de l'époque tertiaire et contemporaine de l'argile plastique, lorsqu'elle n'a pas été remaniée postérieurement par les eaux de la surface, ce qui est le cas le plus fréquent.

Les parois des cuvettes dans lesquelles est contenu le phosphate, sont tantôt phosphatées, tantôt dépourvues de phosphates. La craie formant ces parois n'est autre que la craie à Micraster Coranguinum ou Santonien appartenant à l'étage de la craie à silex et qui constitue tout le sous-sol de la région depuis Amiens jusqu'à Doullens.

L'âge des phosphates paraît être, d'après les fossiles rencontrés, celui de la craie à Belemnites Quadratus, c'est-à-dire la base du sénonien supérieur dont nous rappelons ici la coupe :

Danien	Craie à Nautilus Danicus.	
	Craie à Cardiaster. Phosphates de Ciply. . . .	$20^{m},00$
Sénonien supérieur (Campanien)	Craie à Belemnites mucronatus. Phosphates de Ciply	35 00
Sénonien inférieur (Santonien)	Craie à Belemnites quadratus. Phosphates de Beauval	37 00
	Craie à Micraster Coranguinum.	

L'origine de ces poches a donné lieu à de très nombreuses discussions que nous rappellerons plus loin.

M. Fuchs, qui avait eu l'occasion de visiter Beauval en 1886, au début des exploitations, a résumé ainsi son opinion :

La craie blanche à bélemnites est imprégnée de phosphates sur de grandes étendues dans l'Artois et la Somme, et a pris par là

fréquemment une teinte chamois clair toute spéciale qui l'a fait appeler craie piquetée, craie brune, etc... Telle quelle, elle ne serait pas exploitable[1]; mais des phénomènes de remaniement sur place ont opéré en certains points une concentration de la matière utile.

C'est ainsi que, le bombement de l'Artois ayant fait affleurer la craie piquetée suivant deux anticlinaux principaux (Authie et Bresle) dans la Somme et l'Artois, ces anticlinaux ont été soumis à un ravinement de l'âge du bief à silex. En certains endroits privilégiés, le ravinement s'est arrêté à peu près exactement à la couche phosphatifère qu'il a délayée et dont les petits grains, réfractaires au délayage qui emportait la craie, se sont accumulés dans les poches produites par le ravinement.

Le phénomène s'est d'ailleurs compliqué par la suite. C'est, en effet, dans les mêmes ravinements que se sont déposés, peu de temps après, les glaises, sables et grès de l'argile plastique, puis les sables nummulitiques et même, dans certaines régions spéciales, les autres termes de la série éocène. L'argile à silex et finalement le limon ont ensuite recouvert toute la région d'un manteau uniforme et continu. Les ravinements post-crétacés seraient donc rarement visibles aujourd'hui si les phénomènes diluviens n'avaient finalement façonné le plateau légèrement ondulé qui régnait dans le Nord de la France à la fin de la période miocène, pour donner au sol son orographie actuelle et y creuser les vallées de l'Oise, de la Somme et de leurs divers affluents. C'est sur le flanc de ces vallées ou sur les plateaux bas, partiellement délavés, que l'on peut alors trouver les restes du ravinement éocène et découvrir les poches auxquelles ce ravinement a donné naissance et qui sont principalement remplies par les matériaux de l'argile plastique et exceptionnellement par les sables phosphatés.

Les principaux points, sur lesquels porte la discussion théorique relative aux phosphates de Beauval, sont les suivants :

1° Origine première du phosphore et mode de formation de la craie phosphatée ;

2° Age du creusement des poches et de l'enrichissement des sables.

[1] Le problème de l'enrichissement industriel de cette craie brune, qui offre des ressources énormes en phosphates, est étudié de divers côtés avec activité.

1° Sur l'origine du phosphore, nous renverrons à ce que nous avons dit plus haut, page 359 : pour M. Lasne, il y a eu dissolution de l'apatite de roches lointaines, apport par des courants et précipitation sur des organismes (foraminifères et algues calcaires) ; pour M. de Mercey, action de sources alignées suivant les plissements du terrain.

M. de Mercey a montré[1] que la craie phosphatée[2] à bélemnites affectait la forme de lentilles pouvant atteindre 1 000 mètres de long sur 2 à 300 mètres de large avec une épaisseur centrale de 20 mètres. Ces lentilles ont souvent été déprimées à leur partie supérieure par la surcharge des autres terrains. A leur voisinage, la craie à Micraster coranguinum, sur laquelle elles reposent, se durcit de plus en plus en se phosphatisant et il existe même parfois, paraît-il, à leur pourtour, une mince zone de phosphate presque pur qui a été considérée par M. de Mercey comme résultant d'un dépôt hydrothermal sur une cuvette creusée dans la craie ; un enrichissement progressif se poursuit dans l'intérieur des lentilles, pauvres sur les bords, riches au centre, et la teneur va en augmentant de la surface au fond des amas. Egalement au contact des craies à Micraster et Bélemnites, on connaît des lentilles de craie magnésienne[3], le carbonate de magnésie et le phosphate de chaux se trouvant ainsi concentrés dans les mêmes conditions et souvent ensemble.

L'intérieur des lentilles témoigne d'une sorte de classement, peut-être sous l'action de courants, ayant produit des lits, d'ailleurs irréguliers, de phosphate enrichi.

Enfin, au-dessus de la craie phosphatée, repose, souvent par l'intermédiaire d'un lit tabulaire de silex, la craie blanche à bélemnites.

2° En ce qui concerne l'âge du creusement des poches à sables riches, M. de Mercey nous paraît avoir bien montré qu'elles étaient en relation directe avec le bief et n'existaient que là où

[1] *B. S. G.*, 1891, 3e, t. XIX, p. 855.

[2] Pour M. Cayeux (*Ann. Soc. géol. Nord*, 1891, p. 283) la craie du Nord de la France se serait déposée à une petite distance des côtes et sous une faible profondeur d'eau ; les éléments seraient, en grande partie, empruntés à des roches côtières.

[3] Barrois. *Ann. Soc. géol. Nord*, 1878, p. 447.

ce bief avait entamé la craie. Pour MM. Stanislas Meunier, Lasne, etc., cette action se serait cependant produite postérieurement au bief par infiltration d'eaux météoriques pénétrant au-dessous de lui et décalcifiant la craie. Pour MM. Breton et Gosselet, elle résulterait d'eaux pluviales antétertiaires ; pour M. Munier-Chalmas, elle serait quaternaire.

Statistique. — La quantité totale de phosphate riche arénacé, existant à Orville, Beauval, etc., est évaluée à environ 1 580 000 tonnes.

Les exploitations se font généralement à ciel ouvert. Le nombre des ouvriers employés était, en 1887, de 500 à Beauval et 320 à Orville.

La composition est la suivante :

Acide phosphorique	35,63	(77,78 de phosphate de chaux).
Acide carbonique	3,95	
Chaux	49,67	
Oxyde de fer	1,16	
Alumine	0,38	
Magnésie	0,48	
Acide sulfurique	0,98	
Matières organiques	2,20	
Alcalis, fluorure de calcium, etc.	6,15	
Total	100 »	

La préparation du phosphate consiste dans une dessiccation sur plaques de tôle chauffées et une mouture en poudre impalpable. On ne l'emploie pas en engrais naturel, mais en superphosphate.

Dès 1887, on a extrait à Beauval plus de 20 000 tonnes de phosphate valant 900 000 francs, et, à Orville, plus de 35 000 valant 1 600 000 francs.

Bibliographie.

1849. Buteux. — Esquisse géologique du département de la Somme.
1863. de Mercey. — Craie phosphatée de Beauval. (*B. S. G.*, 2e série.)
1867. de Mercey. — (Mémoires de la Société linéenne du Nord.)
1878. Barrois. — *Ann. Soc. géol. Nord*, p. 447.
1886. Vion. — Les phosphates de la Somme. (*Soc. linn. du Nord de la France*, n° 174, p. 187. Amiens, 1886.)

1886. Stan. Meunier. — Les phosphates de *Picardie*. (*La Nature*, n° 712, p. 113. Paris, 1886.)

Nautier. — De l'enrichissement de la craie phosphatée et de l'origine du phosphate riche de *Beauval*. (C. R., t. CVIII.)

1887. de Mercey. — Sur la position géologique de la craie phosphatée en Picardie. (C. R., 5 décembre 1887.)

1887. de Mercey. — La craie phosphatée à *Belemnitella quadrata* dans le *Nord de la France*. (*B. S. G.*, 3e série, t. XV, p. 719.)

1889. H. Lasne. — Notes sur les phosphates de *Beauval* et d'*Orville*. (*Extr. des Mém. de la Soc. des Ingénieurs civils*. Paris, 1889.)

1889. Ladrière et Cayeux. — Compte rendu d'une excursion aux exploitations de phosphate d'*Orville*. (*Ann. de la Soc. géol. du Nord*, t. XVI. Lille, 1889.)

1889. J. Laromiguière. — Note sur les phosphates de la Somme. (*Bull. Soc. hist. nat. de Toulouse*, 1889.)

1889. Ladrière. — Sur les dépôts phosphatés de Montay et de Forest (*Nord*). (C. R., t. CVII, p. 960.)

1889. Gosselet. — Leçons sur les gites de phosphate de chaux du *Nord de la France*. (*Soc. géol. du Nord*, année XVI. Lille, 1889.)

1889. Gosselet. — Les gites de phosphate du *Nord de la France*. (*Bull. Soc. géol. de Belgique*, t. III, p. 287. Bruxelles, 1889.)

1889. de Mercey. — *Ann. Soc. géol. Nord*, t. XVI, p. 211.

1890. Lasne. — Terrains phosphatés des environs de Doullens. (*B. S. G.*, 3e, t. XVIII, p. 441.)

1890. Cayeux. — Sur le crétacé des environs de Péronne. (*Ann. soc. géol. du Nord*, t. XVII, p. 227.)

1890. Gosselet et Cayeux. — (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XVIII, p. 156, avec réponse de de Mercey, ibid., t. XIX, p. 52.)

* 1891. de Mercey. — Sur les gites de phosphate de chaux de la Picardie. (*B. S. G.*, 3e, t. XIX, p. 854.)

1892. Munier-Chalmas. — Origine des phosphates de la Somme. (*B. S. G.*, séance du 21 mars 1892.)

PHOSPHATES DE CIPLY[1]

Les phénomènes que nous venons de signaler dans l'Artois se sont reproduits avec quelques légères variantes à *Ciply*, aux environs de Mons, dans les couches à Cardiaster Ananchytis, les plus élevées de la craie sénonienne. Ces couches sont, elles aussi, imprégnées de phosphate de chaux sous forme de paillettes brunes et de petits grains donnant naissance à une craie mouchetée qui porte dans le pays le nom de *craie brune*, désignation universelle-

[1] Coll. *École des Mines*, 1656.

ment adoptée aujourd'hui pour toute la craie phosphatée. Mais la complication géologique est un peu plus grande aux environs de Mons que dans la Somme ; en ce sens, que la *craie sénonienne* y a subi un léger mouvement d'ondulation antérieurement au dépôt de la *craie danienne*, qui la surmonte en stratification discordante, et sous laquelle ses assises supérieures phosphatifères se terminent en biseau.

L'ensemble des terrains crétacés a, d'ailleurs, été soumis dans cette région, comme dans tout le bassin parisien, à l'action du phénomène de ravinement que nous avons décrit il y a un ins-

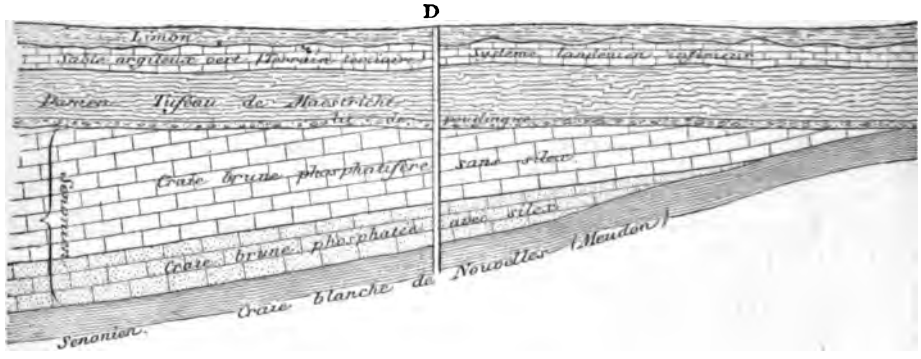


Fig. 61. — Coupe théorique du gisement de Quesmes (Ciply).

tant, si bien que la craie danienne n'existe plus qu'à l'état de lambeaux isolés et que la craie sénonienne elle-même est profondément et irrégulièrement entamée. La puissance de la couche phosphatifère est de 8 mètres [1] ; on ne la connaît jusqu'à présent, à l'état intact, qu'aux environs de Ciply, où elle affleure en plongeant sous un lambeau discordant de danien, lui-même recouvert par les assises de l'éocène inférieur.

Cette craie phosphatée est à une teneur qui oscille de 23 à 28 p. 100 ; un léger enrichissement étant toujours observé à la partie inférieure de la couche, en même temps que quelques agglomérations de matières phosphatées, généralement recouvertes d'un enduit de phosphorite pure.

A cet état, la craie phosphatée n'est pas utilisable immédiate-

[1] Aux exploitations actuelles, elle est recouverte d'environ 4 à 5 mètres de terre.

ment, mais son extrême friabilité permet de lui faire subir, sans trop de frais, un enrichissement plus ou moins considérable.

Le procédé le plus simple consiste à soumettre la craie pulvérisée à un courant d'air ascendant assez énergique pour enlever la farine crayeuse et laisser cependant retomber les grains phosphatés. Ces derniers arrivent ainsi à une teneur moyenne voisine de 50 p. 100.

Pour réaliser des teneurs plus élevées, on est obligé d'avoir recours à une légère calcination suivie d'un broyage dans l'eau et d'une préparation mécanique au moyen de trommels, pompes centrifuges et caisses de décantation ; après quoi, on sèche en faisant tomber la farine sur des tubes de $0^m,15$ traversés par les flammes d'un foyer et on broie de nouveau. Ce procédé est plus coûteux que le précédent, mais il donne lieu, en revanche, à des pertes moindres et permet de réaliser des teneurs de 40 à 45 p. 100[1].

La craie brute, rendue à l'usine, coûte 1 fr. 50 à 1 fr. 75 la tonne. Le sable préparé à 40 p. 100 valait en 1890, à Ciply, 19 à 20 francs ; à 50 p. 100,40 francs. Une usine passant 200 tonnes de craie par jour revient à environ 100 000 francs.

La surface occupée par des lambeaux demeurés intacts de ces deux niveaux de craie phosphatifère, situés à la base et au sommet du *sénonien*, se chiffre par milliers d'hectares ; c'est donc par millions de tonnes que se comptent les minerais phosphatés qu'ils renferment. Lorsque l'on aura réussi, soit à utiliser la *craie brune* telle quelle, après pulvérisation, pour une sorte de marnage phosphatifère des limons du Nord de la France, soit à l'enrichir *industriellement*, elle constituera une des sources de phosphate de chaux les plus importantes de l'Europe occidentale. Dès aujourd'hui les poches où cet enrichissement a été opéré par la nature fournissent une partie essentielle des phosphates riches annuellement absorbés par l'agriculture.

[1] La difficulté de l'enrichissement vient de ce que les grains phosphatés eux-mêmes ne contiennent pas beaucoup plus de 60 p. 100 de phosphate ; mais cette opération est du plus haut intérêt, car la valeur d'un phosphate croît proportionnellement à la teneur plus vite que cette dernière. Un procédé breveté employé à l'usine Solvay permet, paraît-il, d'enrichir à 50 ou 55 p. 100.

Bibliographie.

1875. Nivoit. — Sur les phosphates de chaux de Ciply. (C. R., 1874, t. LXXIX; *Cuyper*, t. XXXVIII, p. 236.)

1877-78. Briart et Cornet. — Sur la craie brune phosphatée de *Ciply*. (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. V. Liège, 1877-78.)

Cornet. — Sur l'âge du tufeau de *Ciply*. (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. XV. Liège.)

1878. A. Petermann. — Seconde note sur les gisements de phosphates en Belgique et particulièrement sur celui de *Ciply*. (*Mém. couronnés publiés par l'Ac. roy. des sc. de Belgique*, t. XXVIII. Bruxelles, 1878.)

Cornet. — Sur l'époque de l'enrichissement des phosphates de chaux aux environs de *Mons*. (*Ann. de la Soc. géol. de Belgique*, t. XIII. Liège.)

1884. H. Lasne. — Sur la composition des phosphates des environs de *Mons*. (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XVII, p. 141. Lille.)

1888. Penrose. — Phosphate of lime, p. 102.

1891. J. Keller. — Notes inédites.

Comme autres types de phosphates crétacés du même niveau, nous rappellerons seulement ceux que nous avons mentionnés plus haut dans la Sarthe.

H. — TERRAINS TERTIAIRES

Les terrains tertiaires ne renferment que rarement des gisements de phosphate de chaux faisant partie intégrante des couches, les venues hydrothermales phosphatées de cette période, venues qui sont abondantes surtout à l'époque sidérolithique (post-pyrénéenne) se présentant de préférence, soit sous forme de filons, soit sous forme d'amas de phosphorite, également décrits plus haut. Nous ne citerons donc que pour mémoire l'existence du phosphate de chaux dans quelques-uns des termes de la série tertiaire où sa présence paraît d'ailleurs avoir une origine organique.

Ainsi l'on a signalé le phosphate de chaux dans certaines argiles fossilifères de l'*Éocène inférieur* (argile plastique d'Auteuil, *Fishbed* d'Ashley); dans le *Crag miocène* de Lutton (Suffolk, Angleterre) où sa proportion atteint 50 et même 57 p. 100; dans les *Faluns miocènes* de la Gironde; enfin dans le *Crag pliocène* du

Cotentin. Dans tous ces gisements, la présence du phosphate de chaux est intimement liée à celle d'innombrables débris de coquilles, de polypiers, de dents et d'os fossiles, et ce n'est qu'exceptionnellement que l'on trouve des concrétions phosphatées tertiaires comme celles des *calcaires nummulitiques* d'Einsiedeln (Suisse) ou celles qui ont été signalées par M. G. Rolland aux environs de Ghabès, dans des calcaires marneux rapportés à l'Eocène inférieur.

Cependant l'attention a été vivement attirée depuis 1889 sur de très importants gisements de phosphate de chaux existant dans la formation suessonienne de la Tunisie et se prolongeant jusqu'en Algérie.

PHOSPHATES TUNISIENS [1]

M. Thomas avait, dès 1885, signalé des phosphates situés au Sud de la Tunisie, à l'Ouest de Gafsa [2] et accompagnés dans la même région par des phosphates crétacés. En 1887, M. Aubert, ingénieur des mines, reconnut que ces gisements se prolongeaient sur 50 kilomètres de long au Sud et à l'Ouest de Gafsa. Depui ce moment, des recherches commencées ont fait découvrir des couches exploitables de 8 à 12 mètres, comprises dans un banc phosphaté de 36 mètres et contenant, d'après les inventeurs près de 60 p. 100 de phosphate tribasique. La quantité exploitable ne serait, suivant ces explorateurs, pas moindre de 10 millions de tonnes, l'exploitation pourrait se faire à ciel ouvert, la teneur très constante pourrait être enrichie sur place de 7 à 8 p. 100 et portée ainsi à plus de 60 p. 100 de phosphate. L'absence de voies de communication a empêché jusqu'ici d'exécuter de véritables travaux.

M. Thomas a publié récemment sur ces gisements [3] une intéressante étude géologique dont voici les résultats essentiels :

Les calcaires phosphatés occupent à peu près la base de l'étage suessonien. Ils viennent au-dessus d'un premier dépôt de nivellement des bas-fonds littoraux, dépôt d'épaisseur variable, formé

[1] Coll. *École des Mines*, 1863 à 1867.
[2] Voir plus loin, fig. 62.
[3] *B. S. G.* 2 mars 1891.

de limons argileux noirs toujours saturés de chlorure de sodium

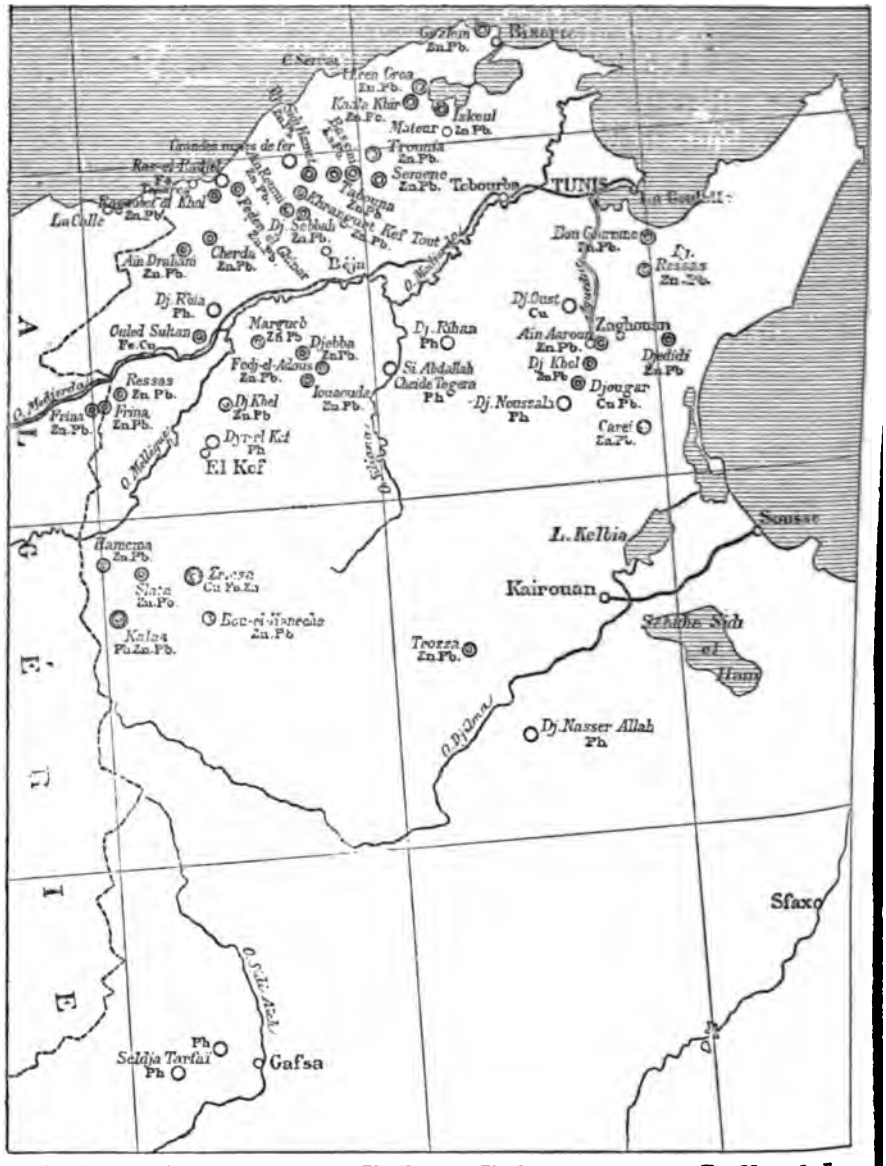


Fig. 62. — Carte des gisements miniers de la Tunisie.

et de gypse. Ils sont recouverts dans le Sud-Ouest et le Nord-Est

par des bancs puissants de calcaires à lumachelles ostréennes.

Dans le Sud, cet ensemble est très redressé et le niveau phosphaté érodé y apparaît comme enchâssé entre de hautes murailles; dans le Nord au contraire, les terrains sont presque horizontaux.

La richesse en phosphates paraît en relation avec le voisinage du rivage et diminue à mesure que la formation revêt le faciès nummulitique, c'est-à-dire en allant du Sud au Nord. D'après des observations microscopiques du Dr Bleicher sur des échantillons venant du Djebel Nasser Allah au Sud de Kairouan, le phosphate serait probablement condensé dans des foraminifères et des écailles de couleur ambrée.

Indépendamment de ces phosphates de Gafsa, on connaît et l'on exploite à la frontière N.-O. de la Tunisie, à Soukahras, dans le département de Constantine, des gisements de phosphate de chaux appartenant au même niveau et reconnus par M. Wetterlé.

Enfin, en 1890, on a commencé diverses recherches dans le Nord de la Tunisie, autour du Kef, dans la vallée de l'Oued Siliana, à Béjà, au Kif Larouri, à Djebba, etc.

Ces derniers phosphates, appartenant comme les précédents à l'éocène inférieur, se présentent sous formes de poudingues caractérisés par la présence de grains verts de glauconie L'épaisseur des couches varie de $0^m,30$ à 2 mètres. Parfois il existe plusieurs bancs phosphatés superposés.

La teneur est généralement faible, au plus 45 à 52 p. 100 (70 p. 100 dans les rognons). En outre, il existe d'un point à un autre des variations de teneur qui, à 1 mètre de distance, peuvent aller de 2 à 45 p. 100. Néanmoins ces gisements, par leur étendue et la proximité soit du rivage, soit de la ligne Bône-Guelma, présentent un sérieux intérêt.

Nous mentionnerons encore, au Sud de Zaghouan, des affleurements phosphatés du même âge, mal étudiés jusqu'ici.

Bibliographie.

1878. Tissot. — Notice minérale sur le département de Constantine, p. 35.

1883. Péron. — Description géologique de l'Algérie, p. 71.

1885-1888. Thomas. — C. R. des 7 déc. 1885, 7 juin 1886, 9 mai 1887, 30 mai 1887, 30 janv. 1888.

1888. Thomas. — Sur les gisements de phosphate de chaux de l'*Algérie*. (C. R., t. CVI, p. 379. Paris, 1888.)

1890. Gisements de phosphate de chaux en Tunisie. (***Bulletin An. d. M.*** 8e, t. XVII, p. 687.)

21 mars 1891. *La Nature*.

1891. Thomas. — Gisements de phosphate de chaux des hauts plateaux de la Tunisie. (*B. S. G.*, 2 mars 1891.)

I. — PHOSPHATES QUATERNAIRES CAROLINE DU SUD[1]

Il existe, à proprement parler, peu de gisements de phosphate de chaux dans le terrain quaternaire ; mais ce dernier, qui est essentiellement formé, comme on sait, par les produits de remaniement des terrains antérieurs, peut renfermer accidentellement les produits du lavage de couches riches en phosphate et notamment de nodules crétacés.

C'est ainsi qu'on pourrait, à la rigueur, rattacher au quaternaire quelques-uns des gisements étudiés plus haut : ceux de l'Auxois ou du Nassau, par exemple. Nous nous contenterons de signaler à cette place les alluvions de *Charleston* (*Caroline du Sud*), et celles de la *Floride* aux Etats-Unis[2].

Les exploitations de la Caroline ont une importance considérable dans l'industrie des phosphates et leur produits sont annuellement transportés en Europe en quantités variables de 150 000 à 200 000 tonnes, plus de la moitié de ce tonnage étant absorbée par l'Angleterre, où les nodules sont transformés en superphosphates. Ces nodules ont même servi, pendant plusieurs années, de régulateurs au marché des phosphates et leur teneur moyenne, qui est d'environ 60 p. 100, a été prise pendant long-

[1] Coll. *École des Mines*, 1618.

[2] 1873, Brylinski. Rapport sur les phosphates de chaux de la Caroline du Sud (Soc. géol. de Normandie, t. II).

1876, Leidy. (*American journal*) (3), XII, 232. *Rev. de géol.*, X, 47 et XI, 42 ; cf. *Ann. des Min.* 7e, 13, p. 32-7.

1878, Revue de géologie. (*Ann. des Min.* 7e, t. XIII, p. 352 ; cf. X, 47 et XI, 42.)

1888, Davies.

1888, Penrose. *Phosphate of lime*, p. 60.

1891, Wyatt. *Phosphates of America*, p. 45.

temps comme point de départ de l'échelle de la valeur commerciale des minerais phosphatés.

La première mention de ces gisements de la Caroline, paraît avoir été faite en 1797 par Kannay, dans son *Histoire de la Caroline du Sud.* Depuis, ils furent redécouverts, en 1837, par un M. Holmes qui, ayant quelques connaissances en géologie, étudia avec soin les fossiles qu'ils contiennent et, en 1850, les décrivit dans une note lue à l'Association américaine pour l'avancement des sciences, sans reconnaître, toutefois, la véritable valeur de la roche.

Ce n'est qu'en 1867 qu'une compagnie fut enfin organisée pour l'exploitation.

Puis, comme nous venons de le dire, ces phosphates alimentèrent longtemps le marché anglais; mais, depuis quelques années, l'Amérique commençant à consommer elle-même des phosphates, l'exportation a une tendance à diminuer.

Dans les dix dernières années, elle a été, pourtant encore, en moyenne, de 170 000 tonnes par an, valant 1 250 000 francs.

La production est résumée dans le tableau suivant:

ANNÉES	LAND ROCK	RIVER ROCK	TOTAL en tonnes	ANNÉES	LAND ROCK	RIVER ROCK	TOTAL en tonnes
1870	18.000	1.989	19.989	1881	141.000	124.541	265.541
1871	33.000	17.655	50.655	1882	190.000	140.772	330.772
1872	38.000	22.502	60.502	1883	226.000	129.318	355.318
1873	45.000	45.777	90.777	1884	258.000	151.243	409.243
1874	43.000	57.716	100.716	1885	224.000	171.671	395.671
1875	48.000	67.969	115.969	1886	294.000	191.194	485.194
1876	54.000	81.912	135.912	1887	230.000	202.757	432.757
1877	39.000	126.569	165.569	1888	260 000	190.274	450.274
1878	113.000	97.700	210.700	1889	250 000	212.101	462.101
1879	102.000	98.586	200.586	1890	300.000	237.149	537.149
1880	125.000	65.162	190.162		3.031.000	2.434.557	5.465.557

En 1891 le totale a été de 650 000 tonnes.

On remarquera que ce tableau distingue le *Landrock* exploité en carrières et le *Riverrock* extrait par dragage du cours actuel des rivières. Nous retrouverons cette distinction en Floride.

Les figures 63 et 64 (p. 406) donnent, d'après Davies, des coupes de deux de ces gisements situés, l'un à proximité de la mer, l'autre au bord d'une rivière.

Les terrains représentés par ces figures sont les suivants :

4.	Terre végétale	quaternaire.
	Sable avec débris de coquilles.	
3.	Blocs de phosphate, marnes jaunes ou verdâtres.	
2.	Sables et argiles avec coquilles fossiles appartenant en grande partie à des espèces vivantes.	pliocène.
1.	Marnes éocènes	

On remarquera que le miocène fait défaut.

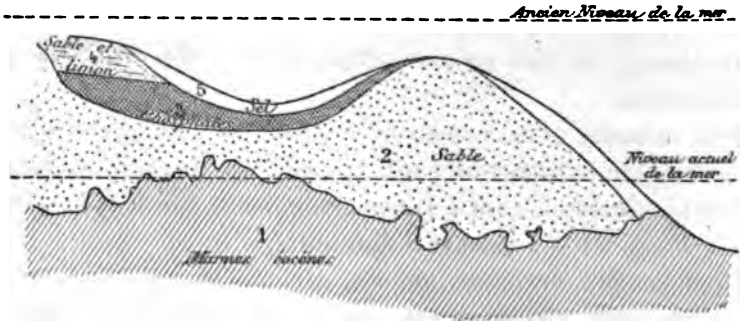


Fig. 63. — Coupe géologique d'un gisement de phosphates dans la Caroline du Sud (d'après Davies).

5, sel. — 4, sable. — 3, phosphates. — 2, sables. — 1, marnes éocènes.

Les organismes contenus dans le lit de phosphates sont souvent

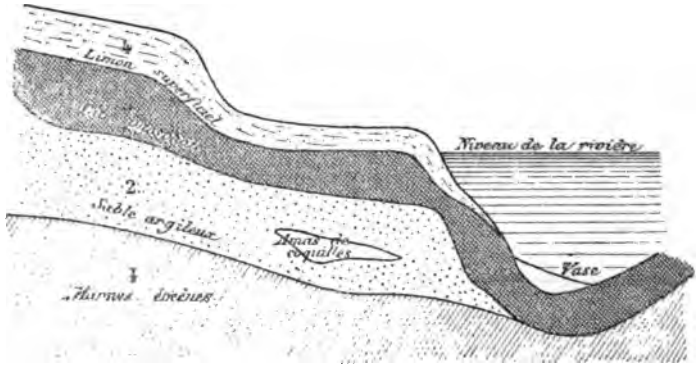


Fig. 64. — Coupe géologique d'un dépôt de phosphate près de la rivière Ashley (Caroline du Sud), d'après Davies.

4, terrain superficiel. — 3, phosphates. — 2, sables argileux. — 1, marnes éocènes.

des coraux avec des os d'animaux marins, ressemblant à des

alligators. Peu de débris d'animaux terrestres ont été trouvés dans les noyaux de phosphates; mais on y rencontre d'innombrables restes de cétacés, requins, etc., des os de carcharodon, éléphas, mastodon, mégatherium, équus, etc., et d'autres animaux quaternaires mélangés à des os éocènes empruntés, comme les nodules phosphatés eux-mêmes, aux marnes sous-jacentes.

Voici une analyse citée par Davies :

Acide phosphorique.	27,24	(phosphate, 59,46).
Matières organiques	4,30	
Acide carbonique	3,63	(carbonate de chaux, 8,18).
Acide sulfurique	2,18	
Chaux.	42,68	
Magnésie	0,57	
Sesquioxyde de fer.	3,80	
Alumine.	1,10	
Sable et matières insolubles . .	14,00	
Total. . . .	100,00	

PHOSPHATES DE LA FLORIDE

Les phosphates de la Floride, exploités seulement depuis 1890, ont amené en 1891 sur le marché des phosphates une baisse qui n'a pas été de moins de 30 p. 100.

Ils sont groupés principalement autour de deux points : dans le Nord (environ sur le 29e degré de latitude), aux environs d'Ocala; au Sud (entre le 26e et le 27e degré), dans les vallées des diverses rivières qui aboutissent à la baie de Charlotte Harbour, sur le golfe de Mexique; en particulier du Peace River, au sud de Bartow.

Par leur allure géologique aussi bien que par leur situation géographique, ils se rapprochent des gisements de la Caroline du Sud (Charleston) que nous venons de décrire.

C'est en 1881 qu'un ingénieur français, M. Le Baron, eut, le premier, l'honneur de reconnaître ces gisements nouveaux; mais ce n'est guère qu'en 1889 qu'on se mit à les exploiter sérieusement. En 1892, la production correspond à environ 200 000 tonnes par an, et on estime qu'elle est encore susceptible de s'augmenter.

La Floride où se trouvent ces minerais, est une presqu'île

d'environ 600 kilomètres de long sur 180 kilomètres de large, principalement constituée d'un calcaire blanchâtre d'origine corallienne. C'est dans des dépressions et poches de ce calcaire, à l'état de phosphate en roches (*rock phosphate*), et dans les alluvions plus ou moins anciennes des vallées à l'état de phosphate en nodules (*pebbles phosphate*) que se sont formés les gisements phosphatés, peut-être par l'accumulation de matières organiques, os et dents d'animaux, dont on retrouve les débris en grand nombre au milieu d'eux.

Les phosphates en roches qui ont été trouvés les premiers et sont principalement concentrés vers Ocala, se présentent eux-mêmes à deux états différents :

Tantôt on a affaire à des poches restreintes de 4 à 5 mètres de profondeur, contenant de très gros blocs phosphatés de plusieurs tonnes (*boulders*) à 75/80 p. 100 de phosphate tribasique formés de minerai zoné blanc, jaune ou verdâtre, blocs entourés par une terre phosphatée tendre (*soft phosphate*) à 50 ou 70 p. 100, c'est-à-dire des conditions qui rappellent celle de nos gisements du Quercy; ce genre de gîtes, après avoir fait concevoir un moment de grandes espérances, s'est trouvé assez vite épuisé.

Tantôt, au contraire, comme à Antony et Sparr, près d'Ocala, on a des plaques de phosphate zoné et lamelleux, d'un à plusieurs centimètres d'épaisseur et de quelques centimètres de large qui se présentent, paraît-il, en niveaux assez continus pour motiver des explorations fructueuses. Leur prix de revient serait, d'après MM. Francis Wyatt, d'environ 55 francs la tonne en Europe. Mais la grande source actuelle de phosphate de Floride, ce sont les nodules (surtout ceux du Peace River), qu'on distingue à leur tour en deux catégories : les nodules des alluvions émergées (*land phosphates*) et ceux du cours même de la rivière, extraits par dragage (*river phosphates* [1]).

Les nodules de terre (*land phosphates*), généralement disséminés dans du sable, ou dans une terre argileuse, ont des dimensions variables entre celle d'un pois et celle d'une petite noix; leur cou-

[1] Ces deux catégories de nodules se retrouvent également, comme nous l'avons vu, dans la Caroline.

leur va du blanc au gris noir. L'épaisseur des couches qui les renferment peut osciller entre 1 et 10 mètres. Leur extraction se fait facilement par de simples tranchées à ciel ouvert : mais elle a besoin d'être suivie d'un lavage, tandis que ce lavage s'est produit naturellement dans les nodules de rivière, provenant du remaniement des nodules de terre et souvent encore déplacés par les eaux.

Ces nodules de rivière, rencontrés dans le cour du Peace River et des rivières voisines : Caloosahatchée, Myakka, Manatée, Alafia, etc., forment des bancs relativement réguliers qui atteignent 4 à 6 mètres de puissance. Pour les extraire, on ancre au milieu de la rivière un bateau muni d'une puissante pompe centrifuge dont le tuyau d'aspiration a $0^m,20$ ou $0^m,25$. Les terrains du fond de la rivière, ainsi aspirés, tombent, après criblage, sur une grille, dans un bateau plat ou *barge* de 35 tonnes que des bateaux à vapeur ramènent, une fois rempli, au rivage. A terre, on calcine le minerai dans un four à sole inclinée. La drague peut extraire de 20 à 80 tonnes de phosphate par jour.

Les bords de la rivière étant couverts d'une forêt tropicale très dense et souvent inondée, les ouvriers sont logés sur le bateau même. Les frais d'extraction peuvent être comptés à environ 5 francs : si l'on ajoute 5 francs de droits à payer à l'Etat, 10 francs pour séchage, manutention à l'usine et frais généraux, 5 francs pour frais de mise à bord, commission, etc., 25 francs de fret jusqu'en Europe, on arrive pour les phosphates rendus en Europe à 50 francs la tonne.

Parmi les principales compagnies, nous citerons la Peace River phosphate Cie, puis Charlotte Harbour phosphate Cie, Desoto phosph. mining Cie, etc...

Pour terminer, voici deux analyses moyennes :

PHOSPHATES EN ROCHE, D'APRÈS M. WATTEYNE

Matières organiques	1.0
Acide phosphorique (équivalant à 79,60 de phosphate,	36,5
Chaux	49,0
Magnésie, silice, etc.	11,5
Oxyde de fer	0,7
Alumine	1,3
	100,0

NODULES DE RIVIÈRE A 60/65 DU PEACE RIVER

Humidité	8,82
Matière organique et eau combinée	1,42
Acide phosphorique (61,38 de phosphate)	28,13
Chaux	41,07
Magnésie, oxyde de fer et d'alumine	14,21
Matières insolubles	14,35
	100,00

Il est à remarquer que les phosphates en roches sont souvent mélangés d'argile qui, si on ne prend soin de l'enlever par lavage ou par dessiccation et criblage, peut introduire du fer et de l'alumine dans la composition du minerai et en diminue notablement la valeur.

Bibliographie.

1888. PENROSE. — The nature and origin of déposits of phosphate of lime p. 78. *Bull. of the Un. States Washington.*

1891. WYATT. — The phosphates of America p. 93, 1 vol. New-York; 27, Park Place.

1891. WATTEYNE. — (*Ann. Trav. Publ. de Belgique*, t. XLIX.)

1891. Dr KELLER. — Chemische zeitung.

1890-1891. *Journal l'Engrais* (*passim*).

9 avril 1892. LADUREAU (*Nature*).

Juin 1892. L. DE LAUNAY. — (Nouveaux gisements de phosphate de chaux en Floride. *Nouvelles géographiques*, Hachette.)

PHOSPHATES CONTEMPORAINS

Nous terminerons par quelques mots sur des formations de phosphate à peu près contemporaines et d'origine presque certainement organique, qui ont été signalées sur certains récifs coralliens des mers tropicales.

Alta Vala est une île près de San Domingo où se trouvent des phosphates de chaux chargés d'alumine, et des phosphates d'alumine sans chaux qu'on emploie pour la préparation de l'alun, le résidu étant un phosphate impur, utilisé comme engrais. Il en est de même à l'île de *Redonda*[1] (Mexique).

[1] Coll. *Ecole des Mines*, 1871.

L'*île de Navassa*[1], *dans la mer des Caraïbes*, est également entourée de récifs coralliens où l'on trouve des cavités remplies de matière phosphatique brun rouge.

Enfin, dans le même ordre d'idées, on peut citer la *colombine* de certaines cavernes servant, depuis des siècles, d'asile à des légions de chauves-souris (Jura, Illyrie, côte tunisienne, etc.), et surtout les grands amas de *guano* (îles Chinchas, Méjillones, Baker et Jervis, Galopagos) dont la teneur en phosphore, toujours inverse de celle de l'azote, a son minimum dans les régions où ils ne sont jamais délavés par les eaux atmosphériques, comme dans la zone désertique de la côte chilio-péruvienne.

TURQUOISES

La turquoise est un phosphate d'alumine hydraté employé comme gemme, surtout en Orient.

Les gisements de turquoise sont assez restreints; le principal et presque unique est *Nichapour*, en Perse; quelques turquoises orientales viennent aussi de l'Inde. Au mont Sinaï, il a existé des exploitations antiques qu'on a essayé sans succès de reprendre il y a quelques années. En Europe, on trouve des turquoises à Jordansmühle, en Silésie; on en a signalé en France en quelques points, mais impropres à la joaillerie : ainsi à Montebras (Creuse), où la turquoise accompagne d'autres phosphates, tels que la wawellite, l'amblygonite, etc. Enfin, il y a lieu de mentionner une fausse turquoise qui n'est en réalité qu'un phosphate de chaux teint en bleu par l'oxyde de cuivre : c'est l'*odontolite* assez abondante dans l'Oural, et qu'on retrouve à Simone, en Gascogne, où elle est formée d'ossements fossiles, en particulier de dents de Mastodon Angustidens.

TURQUOISES DE NICHAPOUR

Les *mines de Nichapour* ont été décrites par M. Toqué dans les *Annales des mines* de 1888. Elles se trouvent dans le Nord-

[1] Coll. *Ecoles des Mines*, 1870.

Est de la Perse, sur le flanc de la chaîne de l'Alburs dont la géologie a été étudiée par M. Tietze.

Le noyau de l'Alburs est composé de roches éruptives anciennes. Au Sud de cette chaîne, se trouvent des terrains tertiaires, en particulier du nummulitique représenté par des conglomérats et par des calcaires et du miocène contenant des quantités considérables de sel et de gypse avec des marnes bigarrées. Les dislocations générales de la région ont affecté une direction Est-Ouest et, parallèlement à cette direction, des bandes de trachyte, riches en gisements de cuivre, ont rompu le tertiaire.

Au Sud de cette chaîne, s'étend un vaste désert salé.

C'est dans cette zone Sud de l'Alburs qu'un des massifs de trachyte, ou plutôt un massif de brèche trachytique, cimenté par de l'oxyde de fer, renferme les veines de turquoises exploitées à Nichapour. Ce trachyte, riche en apatite, semblerait être assez analogue à celui qu'on exploite comme gisement de phosphate, au cap de Gate, à la pointe Sud de l'Espagne, et il est possible que le phosphate d'alumine (turquoise) y joue le même rôle qu'ailleurs le phosphate de chaux. Cette turquoise est concentrée dans des fissures de la roche, et souvent enveloppée d'oxyde de fer.

On divise les mines en *mines proprement dites*, avec puits et galeries et *Khagi*, simples fouilles à la surface du sol correspondant au minerai d'alluvions.

Les principaux centres sont Abd-our-Rezagi, d'où l'on tire les turquoises les plus estimées; Kerbelaï-Kerim; Dér-i-Kouh, mine fort ancienne et très étendue; Sér-i-Reüh, d'où viennent des turquoises qui se ternissent rapidement en perdant leur humidité à l'air; Eudjir, d'où l'on a tiré beaucoup de pierres dans ces dernières années.

Environ 200 hommes travaillent aux mines.

Les pierres sont divisées en trois classes :

1° Les *Engouchtéri* (pierres pour bague), d'une couleur belle et stable, d'une forme favorable, vendues à la pièce. La couleur la plus estimée est le bleu de ciel foncé; en outre, la pierre doit avoir une beauté spéciale caractérisée par le *zat*, analogue à « l'eau » d'un diamant ou à « l'orient » d'une perle.

2° Les *Barkhanéh* sont divisés eux-mêmes en quatre catégories; les deux premières coûtent de 3 à 5 000 francs le kilogramme et sont seules envoyées en Europe; les dernières, qui se vendent à Mesched de 250 à 300 francs le kilogramme, sont utilisées dans le pays pour incruster des amulettes, des dagues, des manches, des fourreaux de sabre. Lorsqu'elles ont des défauts, on les dissimule en gravant dessus quelque figure ou quelque verset du Coran.

3° Les *Arabi* sont les pierres les moins estimées.

Les pierres sont généralement vendues à des marchands de Mesched et, de là, passent en Europe, le plus souvent par Moscou, avec une plus-value qui atteint le double et le triple de la valeur sur place.

On estime que la vente des turquoises monte à 50 ou 60 000 francs par an. Depuis quelques années, les mines sont exploitées directement par le gouvernement perse.

Un autre gisement de turquoises qui se présente dans des conditions analogues, est celui, signalé plus haut, de la vallée de *Megara, au Sinaï*, où l'on a trouvé la turquoise avec un oxyde de fer écailleux, dans les fissures d'un porphyre.

Au contraire, on exploite des gisements très différents en *Silésie, à Jordansmühle* et, auprès de là, à *Domsdorf*. Là, la turquoise se trouve en petites boules se suivant les unes les autres en forme de chapelet, dans des fentes que présentent des schistes siliceux. Parfois ces chapelets se distribuent en rayons partant d'un centre commun et offrant l'aspect d'une mousse. Il arrive aussi qu'ils recouvrent des cristaux de quartz enfumé d'une sorte de végétation.

Bibliographie des turquoises.

1825. Fraser. — Journal into Khorassan.

1845. Glocker. — Neue vorkommen von Calait in Schlesien. (*Ann. Phys. Poggendorf*, t. LXIV, p. 633.)

1862. Khanikoff. — Mémoire sur la partie méridionale de l'Asie centrale. (Paris, 1862, p. 91.)

1863. Quenstedt. — Minéralogie, p. 473. (Tübingen.)
1877. Naumann. — Minéralogie, p. 472. (Leipzig.)
1877. Dr Tietze. — Bemerkungen uber die techtonik des Alturgebirges. (*J. KK. g. R. Wien.*)
1881. Schindler. — (*J. KK. g. R. Wien.*, p. 177.)
* 1888. Toqué. — (*Ann. d. M.*, p. 564.)

AZOTE. — NITRATES

Az; Eq = 14. P. At = 14

Usages et statistique. — Nous venons, dans le chapitre précédent, d'étudier l'utilisation des phosphates comme engrais; l'azote est leur complément essentiel pour la nourriture des plantes.

On sait le rôle fondamental joué par l'azote dans tous les tissus vivants, végétaux et animaux et l'impossibilité où sont les animaux de fixer l'azote nécessaire à la vie (sang, muscles, chair, etc.) autrement que par l'intermédiaire des végétaux.

Cet azote, indispensable à la végétation et que celle-ci est également incapable de tirer directement de l'air, est souvent fourni à la terre sous une forme organique, fumier ou guano, dont nous n'avons pas à nous occuper ici; mais, depuis un certain nombre d'années, on emploie de plus en grandes quantités, pour cet usage, des nitrates de soude minéraux, provenant du Chili, du Pérou et de la Bolivie, qui rentrent dans l'objet de notre étude[1].

Ces nitrates ont d'ailleurs une autre grande application industrielle qui est la fabrication artificielle du nitre ou *salpêtre* employé dans la poudre. On connaît les anciennes sources de production du nitre : les efflorescences du sol au Bengale, en Egypte, à Ceylan, dans les parties chaudes de l'Amérique; les platras de démolition, les nitrières où l'on fait agir du fumier sur des terres meubles contenant de la potasse, etc.; aujourd'hui ces diverses méthodes sont à peu près abandonnées pour celle qui

[1] On peut également offrir l'azote aux végétaux sous forme de sulfate d'ammoniaque.

consiste à transformer le nitrate de soude du Chili en nitrate de potasse au moyen du chlorure de potassium de Stassfurt.

Le nitrate de soude forme donc le gisement minéral à peu près unique des corps azotés; la nature présente cependant une autre source d'azote qui contient ce corps en quantité considérable, et d'où l'on parviendra peut-être à l'extraire un jour, c'est l'azote de l'air (79 p. 100 d'azote, contre 21 p. 100 d'oxygène). La difficulté à laquelle on s'est heurté jusqu'ici, c'est le défaut d'affinités chimiques de l'azote qui empêche de le fixer par aucun corps. Quelques essais de laboratoire ont été tentés à diverses reprises dans ce sens, au moyen du titane; mais le titane est un produit rare et cher dont on ne connaît pas de gisements importants, si ce n'est peut-être sous forme de fer titané en Norvège, au Canada, etc.

En agriculture, on emploie le nitrate de soude associé avec les deux autres aliments fondamentaux de la plante, le phosphore et la potasse, ces derniers étant présentés sous forme de phosphates naturels ou de scories phosphatées et de kaïnite de Stassfurt, (sulfate de potasse et de magnésie contenant 12 à 13 p. 100 de potasse).

On a recommandé les proportions suivantes à l'hectare :

	POUR CÉRÉALES	POUR POMMES DE TERRE	POUR BETTERAVES
	kil.	kil.	kil.
Acide phosphorique . . .	100	60	120
Potasse (si besoin est) . .	30	50	50
Azote nitrique.	30 (200^{k} de nitrate).	40	Jusqu'à 350^{k}

La potasse n'est nécessaire que lorsque l'analyse a montré qu'elle faisait défaut dans le sol.

La plus-value résultant de l'emploi des nitrates et phosphates combinés serait, d'après les expériences de M. le Dr Stutzer, de 120 à 150 p. 100 de la dépense supplémentaire occasionnée aux prix actuels par cette fumure.

Ce prix des nitrates a beaucoup baissé dans ces derniers temps, comme nous le montrerons tout à l'heure en donnant quelques renseignements statistiques. Au commencement de 1890, il était, à la Bourse de Lille, régulateur de ce marché pour la France, d'environ 190 francs la tonne ; à Paris de 200 francs [1].

Si l'on veut se rendre compte de la réelle nécessité qu'il y a de rendre de l'azote sous forme minérale à la terre, il suffit de faire un calcul très simple, analogue à celui que nous avons indiqué pour le phosphore.

Les plantes, en effet, ont absolument besoin, pour se nourrir, d'azote sous forme d'acide nitrique. Cet azote, les matières organiques rendues à la terre le restituent, il est vrai, engagé dans des combinaisons diverses que des actions spéciales, sur lesquelles nous aurons à revenir, nitrifient; mais, sur le nitrate ainsi formé dans les couches superficielles du sol, une forte proportion est enlevée par les eaux, portée à la mer et définitivement perdue.

Sainte-Claire Deville a calculé que, chaque jour, aux eaux moyennes, la Seine charrie à la mer 238 000 kil. de nitrate.

Le Rhin	193 000	—
Le Nil aux basses eaux	301 000	—
Soit, pour ces trois seuls fleuves .	732 000	

Par année, ces trois fleuves emportent donc au minimum 266 000 tonnes de nitrate qu'il faut remplacer sous peine de voir le sol s'appauvrir. Si l'on compare à ce chiffre la consommation de nitrate en France pendant une année, on voit qu'elle est seulement de 180 000 tonnes.

Nous avons déjà eu l'occasion de dire que tous les nitrates consommés dans le monde venaient du Pérou, du Chili et de la Bolivie. En dehors de la région limitrophe entre ces trois pays, il existe bien d'autres gîtes de ce minéral (ainsi la zone trachytique du lac de Van, au Sud du Caucase), mais généralement sans importance.

Donnons quelques détails statistiques sur les nitrates :

[1] Le nitrate, qui est vendu sous forme de petits cristaux blancs, est souvent falsifié par l'introduction de sable.

C'est en 1821 que M. Mariano de Rivero fit connaître en Europe le salpêtre du Chili dont le célèbre minéralogiste Haüy détermina les formes cristallines, tandis que Rivero en établissait la composition.

Les premières exportations de nitrate datent de 1827 à 1830 et furent peu fructueuses.

De 1830 à 1834, l'importation du nitrate en Europe fut d'environ 3 000 tonnes par an à 65 francs les 100 kilogrammes (soit 4 fr. 20 le kilogramme d'azote); de 1830 à 1854, on expédia du port d'Iquique qui est le centre principal de ce commerce, en tout 370 000 tonnes (soit en moyenne 150 000 tonnes par an). Depuis ce moment, la consommation a été constamment en croissant et le prix en s'abaissant.

En 1875, le Pérou a expédié 326 870 tonnes, le Chili 100 000 tonnes, et le Rio Loa 50 000 tonnes.

En 1879, le prix des 100 kilogrammes était tombé à 37 francs (soit 2 fr. 35 le kilogramme d'azote). De 1879 à 1882, il a été de 36 fr. 20; de 1883 à 1888, de 25 fr. 11; en 1889, de 19 fr. 25 (soit 1 fr. 23 le kilogramme d'azote); en 1890, de 19 francs; en 1891, d'environ 22 francs.

Les exportations en 1890 ont atteint près de 800 000 tonnes; et, par suite du développement considérable donné à cette industrie, de la formation de plus de 50 compagnies, au Pérou, etc., on estimait la production possible dans cette même année à près de 1 500 000 tonnes.

En 1890, la consommation européenne de nitrate de soude a été de 839 000 tonnes, dont 118 000 pour l'Angleterre et 721 000 pour le reste du continent; dans les quatre premiers mois de 1891, cette consommation s'est élevée à 406 000 tonnes.

Quant au nitrate de potasse, il valait à la fin de 1890 à Marseille, 45 à 46 francs; le sulfate d'ammoniaque[1] 26 à 27 francs.

Passons maintenant à la description de ces gisements.

[1] Tous ces prix sont donnés en gros.

NITRATES DE SOUDE DU PÉROU ET DU CHILI
(ANCIENNE BOLIVIE)

Nous commencerons par résumer ici la coupe générale de la chaîne des Andes qui nous sera utile plus d'une fois dans la suite de cet ouvrage.

La chaîne des Andes se compose de deux grandes crêtes parallèles dont la direction, grossièrement assimilable à un grand cercle terrestre, a servi de point de départ au premier réseau systématique d'Elie de Beaumont.

Les terrains qu'elle comprend sont les mêmes sur toute la longueur.

A partir de la côte Ouest, on rencontre d'abord une première crête, nommée la *Cordillère de la Côte*, composée de roches anciennes, granites, syénites, diorites (à Valparaiso), euphotides, diabases, avec des terrains anciens dévoniens, siluriens, etc., de formes généralement adoucies.

Du côté de la mer, est adossée à cette cordillère une bande de terrains tertiaires et crétacés redressés et parfois ondulés.

Le tertiaire se compose d'éocène inférieur avec des fossiles de Bracheux bien caractérisés. Au-dessous, vient un crétacé à batulites renfermant trois belles couches de lignite d'une grande pureté, exploitées notamment à Lota et à Coronel et avec lesquelles on fait dans le pays une partie de la métallurgie du cuivre. Ces lignites se retrouvent bien horizontaux de l'autre côté de la chaîne, dans sa partie Sud, à Punta Arenas, en Patagonie, près du détroit de Magellan.

Après la Cordillère de la Côte, vient une plaine appelée la Pampa, admirablement marquée dans le Chili dont elle forme la partie riche et cultivée. Cette plaine, lorsqu'on s'élève vers le Nord du côté du Pérou, s'accidente, se sillonne de profondes vallées et se réduit finalement au petit plateau où se trouve le lac de Titicaca.

Au milieu de cette Pampa, on voit sortir en quelques points, à San-

tiago par exemple, des pitons de rhyolite absolument isolés aujourd'hui, toute la plaine ayant été recouverte d'épaisses alluvions.

Puis, de la Pampa, on s'élève peu à peu vers la cordillère des Andes. Généralement, à la base, on voit encore le soubassement granitique de la région, recouvert par ce qu'on a appelé le porphyre stratifié. Pendant le jurassique et le crétacé, si calmes dans la plus grande partie de l'Europe, il paraît y avoir eu, dans cette région de l'Amérique, d'abondantes coulées de mélaphyres verts qui sont venues s'intercaler au milieu des couches avec une régularité parfaite et qui ont exercé sur elles, particulièrement sur les calcaires (surchargés de grenats à leur contact), un métamorphisme notable.

Ces porphyres stratifiés, tantôt sont restés horizontaux, tantôt ont été soulevés et inclinés en produisant une série de gradins et de fractures. Au Pérou, dans la province de Huasco, près du Caraz, on trouve à leur voisinage de la houille jurassique.

A la base de ces couches jurassiques et crétacées, il existe, en certains points, de l'infralias contenant une couche de houille à la Ternera, et du trias caractérisé par ses couches de gypse, de sel et ses conglomérats rouges analogues au grès des Vosges.

Enfin, au sommet de la Cordillère, on voit reparaître le granite avec des pics de phonolite, de trachyte, des coulées de lave, etc..., et, de l'autre côté, on redescend en pente très douce vers la République Argentine.

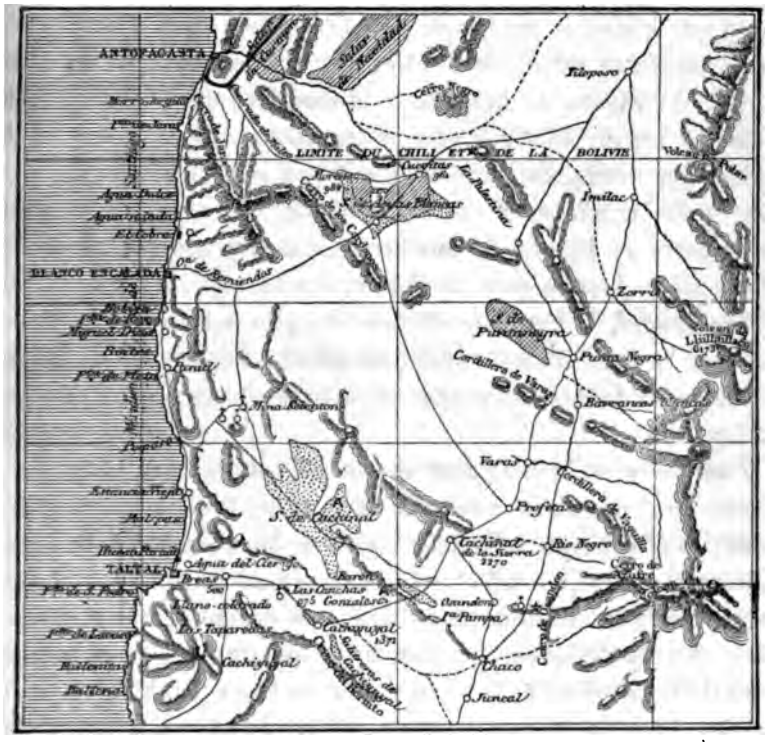
C'est dans la partie comprise entre la Cordillère de la Côte et la Cordillère des Andes, devenue désertique sur les confins du Chili et du Pérou (ancienne Bolivie), entre le 18e et le 24e degré de latitude, que se trouvent les grands gisements de nitrate de soude du désert d'Atacama.

Il existe là, entre 1 200 et 4 000 mètres d'altitude, un vaste plateau que le manque absolu de pluie rend complètement inabordable à l'agriculture. Toute végétation, toute habitation humaine en sont absentes, et l'absence de terre végétale laisse à la terre un aspect rugueux où toutes les roches géologiques, qui ailleurs formeraient le sous-sol, apparaissent.

Les sels minéraux, nitrate de soude, glaubérite, etc., généralement rattachés à une origine organique, peut-être aussi d'après

elques géologues en relation initiale avec les éruptions de tra-ytes et de rhyolites, se sont, par suite de ces conditions clima-riques toutes spéciales, concentrés dans une série de bassins n'on désigne, suivant leur composition, sous les noms de *salares* de *nitrières.*

Les *salares* sont formés d'une croûte de sel gemme et de glau-



Dépôts de sel (Salar). *Dépots de salpètre (Salitrera)*
A *Guano.* B *Borates de chaux et soude* * *Mines d'argent.*
♁ *Mines de cuivre* ▬ *Établissements.* o *Eau douce*

Fig. 65. — Carte des nitrates de soude du désert d'Atacama.

rite ayant 1 mètre à 1m, 50 d'épaisseur, au-dessous de laquelle t le nitre sur environ 0m, 50 d'épaisseur. Le nitre est généralement appauvri vers le centre du bassin et plus mêlé de chlorure sodium.

Les *nitrières* n'affleurent pas précisément, mais sont recouvertes

d'une couche de petits graviers à peine roulés (*costra*) contenant du gypse et des efflorescences salpêtrées qui sont l'indice de la présence du nitre au-dessous. Dans ce cas-là, le nitre a de 0^m, 20 à 2 mètres d'épaisseur.

D'une façon générale, la partie exploitée, nommée *caliche*, contient, avec le nitrate de soude, des sulfates d'alumine, de soude, de magnésie, du sel marin et de l'iodure de sodium. Elle n'est utilisée que quand la teneur en nitrate dépasse 20 p. 100.

Les principales salpêtrières du désert d'Atacama sont, du Nord au Sud[1] : la région du *Rio Loa* à la frontière du Pérou et de la Bolivie; le bassin de *Caracoles* et les salares de Carmen et de Navidad communiquant avec le Pacifique par l'étroite gorge de Negra, près Antofagasta; *Aguas Blancas*, entre les deux ports d'Antofagasta et Blanco Encalada; *Punta Negra* (avec Galleja); *Cachiyugal* en face le port de Taltal ; *Baron*, etc...

A *Cachiyugal*, la longueur connue du gîte est de 8 kilomètres environ, la largeur d'une centaine de mètres, l'épaisseur rarement d'un mètre, la teneur moyenne en nitrate de soude ne dépasse pas 25 p. 100.

A *Punta-Negra*, la longueur est de 12 kilomètres, l'épaisseur moyenne de 1 mètre, la teneur de 30 à 40 p. 100.

Enfin, le gîte d'*Aguas Blancas* a plus de 30 kilomètres de long, une puissance de 0,1 à 0,6 et une teneur de 26 p. 100.

La mise en exploitation de ces richesses présente, par suite des conditions climatériques, des difficultés très grandes dont la première est l'impossibilité de se procurer de l'eau potable.

On ne rencontre un peu d'eau qu'à l'état de nappes souterraines dans les grandes vallées qui descendent des Andes et on l'extrait alors par des puits au moyen de manèges à mulets. A la surface, c'est tout au plus si, en hiver (de juin à septembre), il coule un peu d'eau, généralement tellement chargée de principes salins qu'on ne peut l'utiliser que pour l'alimentation des machines en se servant de condensateurs à air adoptés presque partout dans le pays.

En outre, une compagnie qui s'installe est obligée de tout fournir à ses ouvriers, au moins dans les premiers temps : l'eau, la nour-

[1] Voir, page précédente, la carte, fig. 65.

riture, le vêtement (bien élémentaire il est vrai) et l'habitation, et de leur donner de plus un salaire qui varie de une piastre à une piastre et demie par jour.

Malgré cela, cette industrie a pris, dans ces dernières années, une extension dont les chiffres indiqués plus haut peuvent donner une idée.

ORIGINE DES NITRATES

La théorie généralement adoptée sur l'origine des nitrates se rattache aux beaux travaux de Lavoisier, Boussingault, Schlœsing, Müntz, Winogradsky, etc., sur la nitrification, travaux que nous commencerons par rappeler rapidement.

L'expérience a montré, depuis longtemps :

1° Que l'azote gazeux de l'air n'est pas absorbé par les végétaux et ne joue aucun rôle dans leur nutrition;

2° Que le sol ne fixe en aucune circonstance l'azote gazeux de l'atmosphère;

3° Que l'azote assimilable est apporté aux plantes sous forme d'ammoniaque ou d'acide nitrique.

Nous verrons tout à l'heure comment les matières azotées, ayant une fois passé par la vie, peuvent revenir à l'état de nitrate assimilable et servir de nouveau d'aliment; il n'en est pas moins vrai que ce stock d'azote assimilable, renfermé dans le monde, est limité, qu'en outre on n'explique pas ainsi comment a vécu la première plante apparue sur la terre; il est donc de toute nécessité que l'azote de l'air ait pu se combiner à l'oxygène et à l'hydrogène sans l'intervention de la végétation; le seul cas dans lequel on en ait constaté la possibilité jusqu'ici, ce sont les décharges et effluves obscures de l'électricité atmosphérique; on est forcé de se contenter de cette explication jusqu'à nouvel ordre.

Une fois l'azote entré dans le cycle de la vie, il reste à faire comprendre comment, des combinaisons complexes où il était engagé dans la plante, il peut, une fois introduit dans le sol sous forme de fumier, revenir à l'état de nitrate. C'est ce qu'on n'est arrivé à concevoir que tout récemment.

Déjà, il y a une vingtaine d'années, MM. Schlœsing et Müntz avaient été amenés à l'idée que la nitrification devait résulter de la présence d'un ferment organisé. En 1889 seulement, M. Winogradsky est arrivé à isoler ce microbe nitrifiant, le nitromonade qui, à l'inverse de tous les autres microorganismes connus, est incapable de se nourrir de matières organiques, mais, au contraire, comme les parties vertes des végétaux, emprunte directement son carbone à une source minérale, l'acide carbonique. Ce microbe, qui vit dans une liqueur de carbonate de magnésie, de phosphate de potasse et de sulfate d'ammoniaque, jouit de la propriété de décomposer le carbonate de magnésie pour s'assimiler le carbone et fixer l'oxygène à l'état naissant sur l'azote transformé en acide nitrique.

D'après MM. Müntz et Marcano, un phénomène de ce genre se produit sur toutes les terres voisines des gisements de guano des régions tropicales. A l'entour des cavernes à guano, l'azote, en présence du carbonate de chaux des roches calcaires, fournit les éléments nécessaires à la vie d'un nitromonade, beaucoup plus volumineux, paraît-il, que celui de nos sols et la nitrification s'opère peu à peu en s'étendant progressivement à des terrains de plus en plus éloignés, quelquefois jusqu'à plusieurs kilomètres, comme le montrent les analyses suivantes :

	GUANO de la grotte Sainte-Marguerite	TERRE à l'extérieur de la grotte	TERRE éloignée de la grotte
Azote organique	11,74	2,41	0,80
Azotate de chaux.	0	3,03	10,36
Acide phosphorique . . .	3,68	1,15	6,10

Ce serait une action de ce genre, mais plus ancienne, qui aurait produit autrefois ces grands gisements de nitrate de soude du désert d'Atacama (où il ne reste plus aucune trace d'organisation), dans la même région où, par suite de la sécheresse du climat, l'on trouve déjà les principaux amoncellements de guano du monde, ceux des îles Chinchas.

A côté de cette théorie moderne, nous rappellerons celle qui fut émise en premier lieu par Pissis, et en faveur de laquelle militent encore de sérieux arguments [1]. Suivant ce géologue, le nitrate viendrait de la décomposition constante et encore actuelle des roches feldspathiques qui servent de base et de voisinage aux gisements. Ces roches fourniraient la soude, la chaux, l'alumine, la potasse, l'acide sulfurique par leurs pyrites. L'acide nitrique viendrait de l'atmosphère.

D'après une autre théorie, la région nitrifiée serait une ancienne plage soulevée lors du mouvement de plissement des Andes, et le nitre proviendrait de la décomposition d'épaisses couches de plantes marines dont on ne trouve d'ailleurs aucune trace.

Bibliographie de l'azote.

1877. Gormaz. — Salpêtres et guanos du désert d'Atacama.

1878. Weis. — Ueber Salpeter und Guano in der Wüste Atakama. (*Sitzungsberichte der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft Isis*, 1878, p. 13. Dresde.)

6 juillet 1885. Muntz et Marcano. — Formation des terres nitrées dans les régions tropicales. (C. R.)

1885. Berthelot. — La fixation de l'azote atmosphérique. (*R. Sc.*)

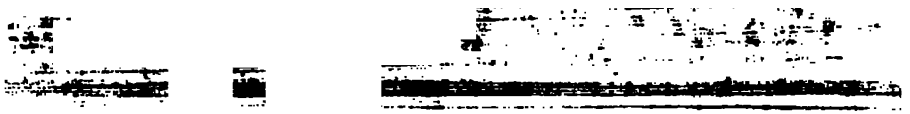
1886. Favier. — L'azote et le phosphore. (*R. Sc.*, 18 juillet 1886.)

1887. Dehérain. — Sur la valeur des engrais et particulièrement des phosphates et des sels ammoniacaux. (*R. Sc.*, 2 avril 1887.)

1890. Grandeau. — De l'emploi du nitrate de soude en agriculture.

Avril et mai 1890. Winogradsky. — Annales de l'Institut Pasteur.

[1] C'est celle que professait M. Fuchs.



POTASSIUM

K. Eq = 39, 14. — P. at = 39

Les sels de potassium ont un grand nombre d'usages importants que nous nous contenterons de rappeler en peu de mots. Ceux que l'on utilise sont les suivants :

Potasse caustique (potasse chimique à la chaux ou à l'alcool) : réactif chimique, pierre à cautères.

Chlorure de potassium : fabrication du chlorate de potasse, transformation de l'azotate de soude du Chili en azote de potasse; fabrication de l'alun — (l'*alun* lui-même[1] : teinture, fabrication des cuirs, médecine, clarification des eaux bourbeuses).

Le chlorure de potassium de Stassfurt, impur mais débarrassé de son chlorure de magnésium, sert en outre, comme engrais.

Le *bromure de potassium :* médecine.

L'*iodure :* médecine et photographie.

Le *cyanure de potassium :* utilisé en galvanoplastie, pour obtenir des cyanures doubles solubles d'argent, d'or, etc., employés à l'argenture, la dorure ; photographie.

Prussiate de potasse (cyanoferrure jaune) ; matière colorante, sert à la fabrication du bleu de Prusse en teinture.

Le *foie de soufre* (mélange de sulfate de potasse et de pentasulfure de potassium) : bains sulfureux, etc.

Le *carbonate de potasse* (potasse du commerce) : fabrication des verreries façon Bohême, des savons mous, etc.

Hypochlorite de potasse, ou eau de Javelle : décolorant, mais moins énergique que le chlorure de chaux.

Le *chlorate de potasse :* fabrication d'allumettes chimiques,

[1] Voir à l'*Aluminium*.

capsules fuminantes, avivage des couleurs d'impression; préparation des autres chlorates de baryte et de strontiane, employés eux-mêmes en feux d'artifice.

Sulfate neutre : fabrication de l'alun et de l'azotate de potasse; engrais.

Azotate de potasse ou salpêtre : fabrication de la poudre[1].

Silicate de potasse : donne un verre soluble, rend incombustible, permet de durcir le calcaire tendre (statues du Louvre et de Notre-Dame de Paris).

Voici à titre de document, les prix cotés pour quelques-unes de ces substances à Marseille, fin 1890 :

Chlorate de potasse	140 francs	les	100 kilos.
Nitrate de potasse	45 —		—
Potasse de Toscane.	50 —		—
— de Naples.			
Sulfocarbonate de potasse	36 —		—
Chlorure de potassium (80 p. 100 minimum de chlorure pur).	22 —		—

Gisements. — Longtemps on a extrait la plus grande partie de la potasse des éléments organiques (potasse d'Amérique et de Russie). Des forêts entières ont été brûlées en Russie, en Amérique pour retirer la potasse du lessivage de leurs cendres. 100 kilogrammes de bois de chêne, hêtre, charme, etc., donnent 1 kilogramme de cendres, dont 100 à 200 grammes de potasse; les sureaux, les noisetiers, 2 à 4 kilogrammes de cendres et 400 à 500 grammes de salin ; les fanes de pomme de terre, de colza, de pavot, les orties, les chardons donnent 3 à 6 kilogrammes de cendres et jusqu'à 1 kilogramme de potasse.

On a tiré aussi de la potasse des tourteaux de lie de vin, du suint des moutons, etc.

Aujourd'hui, la plus grande partie vient des gisements allemands de Stassfurt ou des eaux-mères des marais salants (procédé Balard).

Comme gisement minéral, nous pouvons donc nous borner à étudier Stassfurt; nous rappellerons seulement qu'à propos de

[1] Voir plus haut, p. 415, à l'*Azote*.

l'azote nous avons mentionné les principales sources du nitrate de potasse (ou salpêtre) [1].

GISEMENT DE STASSFURT [2]

CONSTITUTION GÉNÉRALE DU BASSIN

Situation. — La formation saline de Stassfurt-Anhalt est située à la base d'un vaste dépôt triasique qui entoure Magdebourg [3].

Des sondages, entrepris depuis une quarantaine d'années dans la partie supérieure du zechstein, ont permis de reconnaître que, sous les couches quaternaires qui recouvrent la plus grande portion de l'Allemagne du Nord, il existe souvent de puissantes formations salines. C'est ainsi que le fait a été constaté à Sperenberg, district de Potsdam (1 270 mètres), à Inowraclaw (Posen), à Segeberg près de Hambourg, etc.; le sel a toujours été rencontré à une profondeur de 90 à 150 mètres; et nulle part, même à 1 270 mètres de profondeur à Sperenberg, on n'est arrivé au mur de la couche de sel.

Le plus grand de ces bassins salifères est partagé par la chaîne du Harz en deux autres : *celui de la Thuringe* et celui de *Magdebourg-Halberstadt* dont les axes, à peu près parallèles à cette chaîne, ont une direction Sud-Ouest.

Age géologique du bassin. — Le *bassin de la Thuringe*, que nous nous contenterons de mentionner, est constitué par un puissant étage de *grès bigarré* supportant le *muschelkalk* et les *marnes irisées* nettement caractérisés. On y a reconnu deux niveaux salifères dans le muschelkalk et dans le zechstein (Artern et Erfurt).

Le *bassin de Magdebourg-Halberstadt*, le seul dont nous ayons à nous occuper en détail, est constitué essentiellement par des grès à grain fin, des calcaires, et des schistes bitumineux.

On a longtemps rangé cette formation dans le *grès bigarré;*

[1] Page 415.

Une grande partie de cette description du bassin de Stassfurt est empruntée à un *Mémoire* publié par M. Fuchs. (Ann. d. M. 6e VIII, 1865). — Voir coll. Ecole des Mines, 1513.

[2] Voir la *Carte géologique* en couleurs (Planche II) insérée au tome II.

mais, depuis quelques années, à la suite de la découverte, au sommet du *zechstein* du Mansfeld, de couches tout à fait analogues aux schistes bitumineux qui recouvrent les sels de Stassfurt, on rattache ce gisement au *permien*.

Les schistes bitumineux de Stassfurt renferment d'ailleurs souvent un calcaire oolithique également bitumineux, parfois entouré d'argiles rouges, le *rogenstein* (pierre d'avoine) que l'on peut assimiler de même aux assises supérieures du zechstein.

Limites du bassin. — Le bassin de Stassfurt, si on le considère dans toute son extension géologique, est limité :

Au *Sud*, par le zechstein proprement dit, qui affleure aux environs de Walbeck ;

Au *Sud-Ouest*, par le rothliegende et le zechstein inférieur qui affleurent sur la ligne Wohldorf et Nelben-Grobzig ;

A l'*Ouest et au Nord-Ouest*, par la grauwacke qui apparaît aux environs de Klein Paschleben et se prolonge jusqu'aux environs de Magdebourg ;

Au Nord-Ouest, le bassin, mal étudié, paraît s'étendre dans le duché de Brunswick sans limites précises ;

Au *Nord*, il s'arrête à la vallée de l'Elbe, entre Magdebourg et Schönheim ;

Enfin, au *Sud*, à quelques kilomètres de Stassfurt, les strates prennent un prolongement inverse.

Au centre du bassin, une grande ondulation a relevé considérablement les couches. Le versant Nord renferme les étages permiens et triasiques jusqu'au lias. Le versant Sud, outre les terrains précédents, présente du jurassique et du crétacé.

Les dépôts salifères les plus importants sont ceux du versant Nord. Ce sont les plus activement exploités.

Avant de décrire en détail le grand gisement, nous ajouterons seulement quelques mots sur divers sondages ayant, en dehors de ce bassin, rencontré également le sel :

A Thiede, dans le duché de Brunswick ; à Peine, aux environs de Hanovre ; à Offleben et à Reinsdorf, sur le prolongement du gisement principal, on a recoupé une couche de sel gemme à une profondeur variant entre 220 et 280 mètres ;

au Sud-Est de Stassfurt, une couche analogue, ayant le pen-

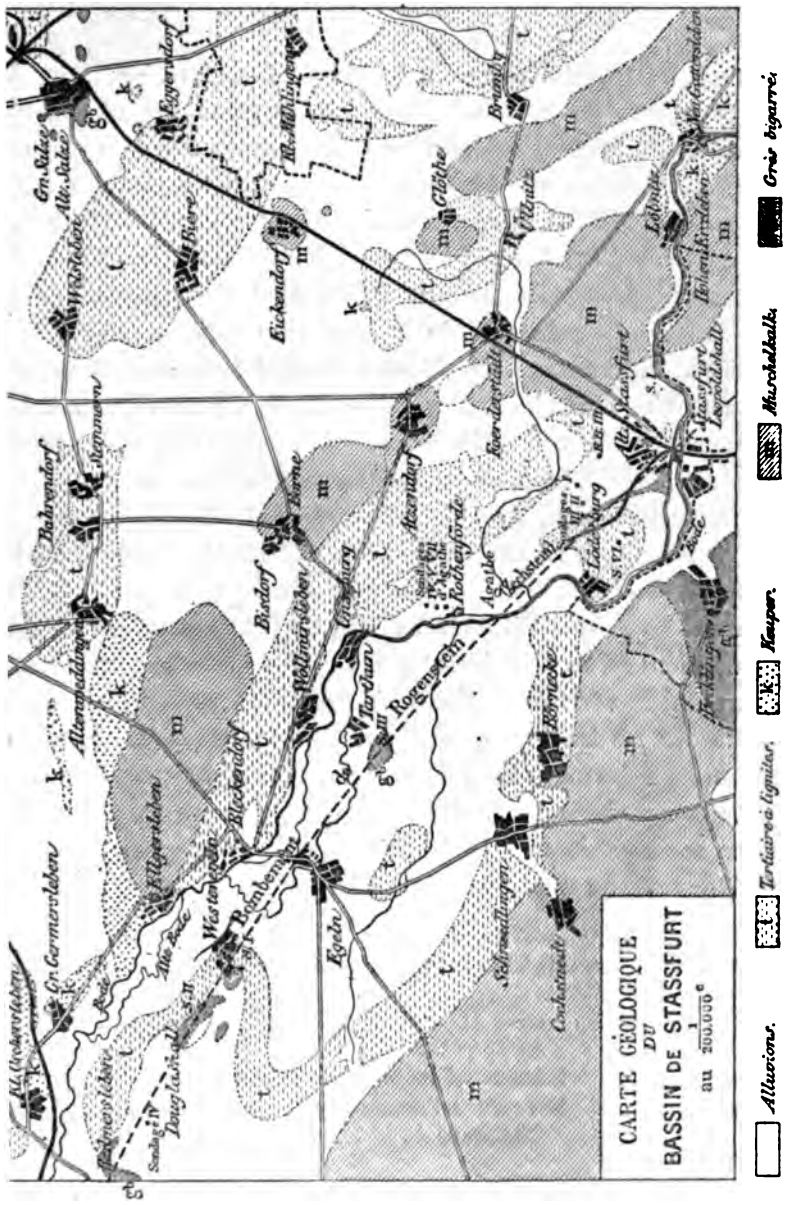


Fig. 66.

e moyen du gisement, a été rencontrée à 95 mètres. Partout eaux du sondage contenaient des sels potassiques mais en

quantité beaucoup trop faible pour justifier les frais d'une exploitation sérieuse.

Constitution géologique du bassin de Stassfurt. — Dans toute cette région de Stassfurt, les terrains permiens et triasiques forment, au-dessous du tertiaire et des alluvions qui les recouvrent en grande partie, une série de bandes parallèles alignées NO-SE. Une coupe NE-SO, perpendiculaire à la direction des couches, met en évidence l'existence d'un grand bombement (fig. 67, p. 433), faisant apparaître, de Douglas-Hall à Agathe et Stassfurt, suivant un axe NO-SE, le toit de la formation salifère (rogenstein et schistes bitumineux), au-dessous duquel commencent immédiatement, en profondeur, le gypse et les sels potassiques. A droite et à gauche de cet affleurement de rogenstein affleureraient, dans le même ordre, des deux côtés de la figure, les terrains supérieurs au zechstein, grès bigarré, muschelkalk et keuper.

Les premières recherches qui furent faites à Stassfurt en 1839, avaient pour but de retrouver par sondage une couche de sel connue à quelque distance au NE. Ce fut avec un grand désappointement qu'au lieu de sel gemme on trouva la carnallite, aujourd'hui la véritable richesse de Stassfurt, et l'on ne se décida à continuer les travaux qu'après avoir constaté la présence du sel gemme au-dessous des sels impurs, magnésiens et potassiques.

La coupe classique de Stassfurt, qui fut reconnue dans ce premier sondage et que toutes les exploitations postérieures ont vérifiée, est, du haut en bas, la suivante :

Sel récent (jüngeres Steinsalz) ;
Schistes bitumineux avec rogenstein ;
Gypse et anhydrite.

4e zone salifère :	Zone de la carnallite (avec kaïnite et sylvine).	40	mètres.
3e —	Zone de la kiesérite	60	—
2e —	Zone du sel impur et de la polyhalite. . .	60	—
1re —	Zone du sel gemme pur ancien (ælteres Steinsalz)	plus de 330	—

Tranversalement à la direction des couches, les quatre zones successives apparaissent des deux côtés du bombement central avec une symétrie que les derniers travaux ont montrée encore

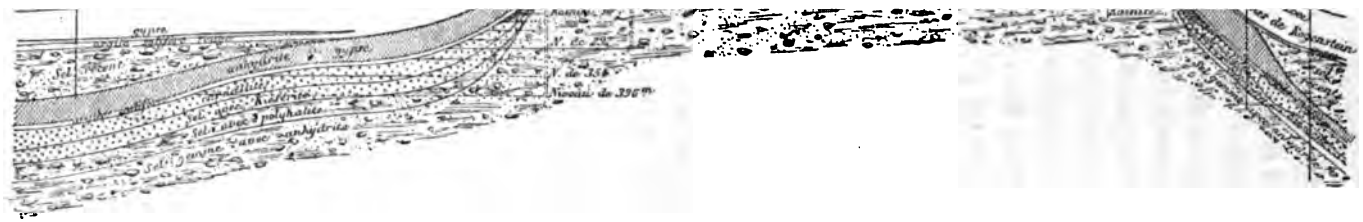


Fig. 67. — Coupe transversale, ENE-OSO, du bassin de Stassfurt.

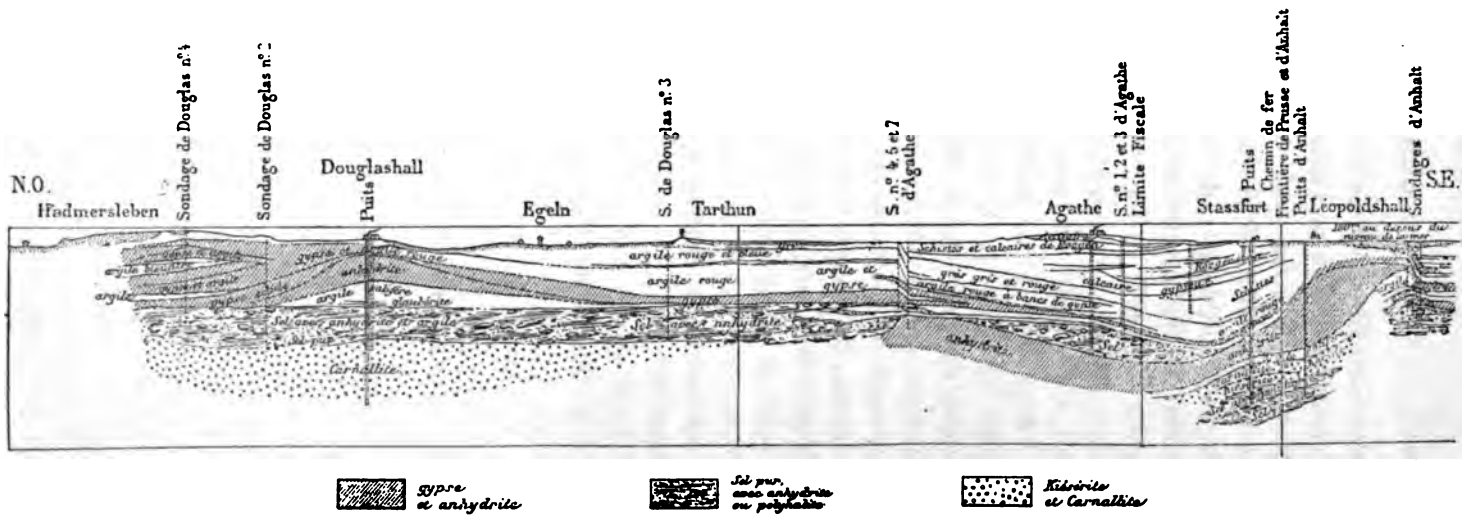


Fig. 68. — Coupe en long, NO-SE, du bassin de Stassfurt.

plus complète qu'on ne le croyait. Sur cette coupe (fig. 67), on peut remarquer, en outre, l'existence de deux petites zones secondaires dont nous dirons quelques mots plus loin, celles de la kaïnite et de la sylvine, ainsi que la présence, au-dessus du gypse qui forme le toit du gîte, de la masse de sel la plus récente (jüngeres Steinsalz), recouverte en discordance par les schistes bitumineux.

Sur un profil en long (fig. 68 p. 433), la complication et l'irrégularité sont beaucoup plus grandes. On y voit la couche de gypse qui, à Stassfurt, recouvre la carnallite, disparaître dans un accident placé à la concession Agathe, tandis que le sel plus récent vient, à Douglas-Hall, se superposer immédiatement à la carnallite et que, dans cette partie NO, l'anhydrite passe au-dessus de ce sel plus récent. De même, au SE, du côté d'Anhalt et Neu-Stassfurt, un accident, peut-être dû à une faille, change la disposition des couches. Tandis que le bombement transversal résulte d'un phénomène mécanique, postérieur à la sédimentation, ces anomalies du profil en long tiennent en grande partie aux conditions du dépôt qui variaient évidemment, par suite de la présence de quelques seuils et barrages, lorsqu'on se déplaçait suivant une ligne NO-SE.

Nous allons décrire successivement ces diverses zones dans l'ordre même où elles se sont déposées, c'est-à-dire de bas en haut.

PREMIÈRE ZONE. — GROUPE DU SEL GEMME

Cette zone forme le mur du gîte proprement dit. Elle a été reconnue à *Stassfurt* et à *Anhalt*, mais pas encore aux autres mines. On ne l'a point traversée encore, quoiqu'elle ait été recoupée sur plus de 330 mètres de verticale.

Le *sel gemme pur* est mélangé de 5 p. 100 d'*anhydrite* disposée en filets minces et réguliers.

Le toit de cette couche renferme déjà de rares sulfates et l'*hydroboracite*, borate hydraté de chaux et de magnésie.

Le sel gemme, qui est l'élément le plus important de cette zone, est en général assez homogène, blanc après pulvérisation et

incolore en masse, sauf lorsqu'il est mélangé de matières étrangères; il est alors gris, brun ou rouge. Rarement il se présente en cristaux bleus feuilletés au toit du gisement, mélangé à de la sylvine. Cette coloration tient à une substance volatile que l'on suppose être un carbure d'hydrogène (mine d'Anhalt).

Le même fait se reproduit dans les mines de la Galicie, voisines, comme l'on sait, des gîtes de pétrole. La couleur jaune est due à de l'argile interposée, la couleur rouge à de l'oxyde de fer.

En général, le sel est en masses compactes à texture cristalline et clivable en petit selon les faces du cube. En grand, il ne présente aucune stratification.

Les variétés sont le *sel compact* simplement translucide et le *sel fibreux* qui n'a été rencontré qu'à Douglas-Hall dans le voisinage de failles, les fibres étant perpendiculaires à la direction de la faille, ce qui indique l'action mécanique, une sorte d'écrouissage.

En outre, on peut citer une variété de *sel grenu* qui forme des bancs blancs ou jaunes d'une épaisseur assez faible. Les grains ont 1 à 2 millimètres de diamètre. L'un de ces bancs jaunes a été étudié. La coloration a été reconnue causée par du chlorure de fer en forte proportion (3,57 p. 100). A l'air, la couleur jaune verdâtre passe au jaune sale et au brun. Au microscope, on reconnaît que les grains de sel sont entourés de chlorure de fer jaune clair et d'oxyde de fer rougeâtre.

La *densité* du sel compact est de 2,16, celle du sel cristallisé de 2,20.

Le *sel gemme de Stassfurt* est très pur ; voici sa *composition*

NaCl	MgCl	KCl	CaCl	$KO.SO^3$	$NaOSO^3$	$MgOSO^3$	$CaO.SO^3$
97,55	»	»	»	1,01	0,43	0,23	0,48
ou :							
98,72	0,24	traces	0,04	»	»	»	0,35

Le *sel gemme de Douglas-Hall* est moins pur : il comprend des cristaux microscopiques d'anhydrite mélangés à sa masse.

Le sel gemme contient des *débris organiques* constitués par des plantes microscopiques appartenant à la famille des mousses.

Enfin le sel renferme de nombreuses bulles de carbures d'hydrogène liquides ou gazeux. Ces bulles sont souvent visibles à

l'œil nu et les gaz paraissent remplir également les fissures et les cavités accidentelles des couches.

La proportion des carbures est environ de $3^{cc},5$ par kilogramme pour le sel gemme et de $8^{cc},5$ par kilogramme pour les sels à base de potasse et de magnésie. Ces gaz donnent lieu souvent au phénomène de la « pousse » dans l'abatage, et ils sont cause de la décrépitation du sel sous l'action de la chaleur.

Les carbures d'hydrogène sont aussi répandus à Douglas-Hall qu'à Stassfurt. Dans la première de ces mines, un dégagement gazeux qui s'était produit dans la sole d'une galerie, ayant été allumé, a brûlé en donnant une flamme de $1^{m},50$ de hauteur, du mois d'avril au mois de juin 1875. Il s'est dégagé une grande quantité de gaz acide chlorhydrique qui a rapidement détruit une conduite d'air en zinc qui passait dans cette galerie.

M. Bischof a donné une analyse en volume de ce gaz; en voici la composition :

Hydrogène carboné.	Acide carbonique.	Air atmosphérique.
85	3	12

Réseau de l'anhydrite. — Malgré la pureté du sel gemme extrait de la zone profonde, il ne saurait être employé pour les usages domestiques. Il est, en effet, recoupé par de petites veines d'anhydrite dont on peut le débarrasser pour l'analyse, mais que l'on ne peut enlever industriellement.

Ces veines forment des surfaces de stratification dans la masse de sel gemme. Elles ont 6 millimètres d'épaisseur et découpent des bancs de $2^{c}5$ à 15 centimètres (en moyenne 9) d'épaisseur normale. Nous verrons plus tard leur intérêt au point de vue théorique.

Elles sont constituées par de petits cristaux de sulfate de chaux anhydre, cimentés par du sel gemme ; l'anhydrite constitue les 49 p. 100 du poids total. On trouve avec ces nombres que la proportion d'anhydrite renfermée dans le massif est d'un peu moins de 5 p. 100 : ce qui est vérifié par la composition moyenne du sel avant le triage.

L'anhydrite est souvent bitumineuse et la coloration grise qui en résulte se communique ainsi aux parties avoisinantes du sel

gemme. Il est probable que les matières bitumineuses ainsi emprisonnées ont provoqué parfois la réduction du sulfate; car le docteur Reichardt, en 1865, a signalé le premier de petits grains de soufre adhérant fortement à l'anhydrite. On sait que la réduction du sulfate de chaux fournit du sulfure de calcium, lequel donne facilement de l'hydrogène sulfuré et du soufre.

La surface supérieure des veines d'anhydrite est généralement lisse et unie; la surface inférieure est rugueuse et inégale; il s'en sépare même de petits rameaux qui traversent irrégulièrement le sel gemme.

Les ouvriers ont donné à ces veines d'anhydrite, que l'on retrouve aussi dans le bassin d'Erfurt, la dénomination de *jahrringe* (anneaux d'un an).

Notons enfin qu'à la surface de séparation des cordons d'anhydrite et de sel gemme, on a trouvé de petites écailles cristallines, d'un sulfate multiple de chaux, potasse, strontiane et magnésie, sorte de polyhalite où la strontiane s'est en partie substituée à la chaux.

A la partie supérieure de l'étage de sel gemme, on a rencontré un minéral assez rare, borate hydraté de chaux et de magnésie, cristallisé nettement en aiguilles, ce qui le distingue des borates amorphes que nous étudierons à la partie supérieure de la zone de la carnallite.

On lui a donné le nom d'*hydroboracite;* sa formule paraît être :

$$2CaO.3\,BoO^3 + 2MgO.3\,BoO^3 + 12\,HO$$

2e ZONE — GROUPE DE LA POLYHALITE ET DU SEL MAGNÉSIEN

A sa partie supérieure, le sel gemme de la première zone commence à se charger de plus en plus de chlorure de magnésium substitué moléculairement au chlorure de sodium; en même temps, le sel prend une saveur amère, une légère déliquescence, un éclat gras, une transparence et une cristallinité moindres et l'on passe ainsi progressivement à la seconde zone, celle de la

Dans ce groupe, le sel gemme est mélangé de 0,5 p. 100 de chlorure de magnésium, qui le rend déliquescent et amer.

L'anhydrite fait place à la *polyhalite*. En arrêtant cette zone au niveau inférieur où le sel cesse d'être magnésien et, comme niveau supérieur, aux premières couches de kiésérite, on trouve qu'elle a une puissance de 35 mètres (hauteur verticale : 60).

La polyhalite s'y présente en petites couches qui ont en moyenne 2^c 5 à 3 centimètres d'épaisseur ; elles sont, comme elles d'anhydrite, très lisses à leur partie supérieure, rugueuses à la partie inférieure.

La *polyhalite* est colorée en gris bleuâtre, sa cassure est conchoïdale, sa densité 2,62. Elle présente la composition suivante :

$CaO.SO^3$	$MgO.SO^3$	$KO.SO^3$	Eau	NaCl (accidentel).
42,64	19,76	27,90	5,75	3,49

ce qui correspond à la formule :

$$2\,CaO.SO^3 + MgO.SO^3 + KO.SO^3 + 2\,HO.$$

Réunie à l'anhydrite, la polyhalite représente à peu près 7,30 p. 100 de la masse totale du sel impur qui ne renferme alors, en moyenne, que 91 à 92 p. 100 de chlorure de sodium.

Dans les parties du sel en contact avec la polyhalite, on a observé de petites masses bleues isolées, disparaissant par l'action de la chaleur, sans qu'on ait pu jusqu'ici s'assurer de leur composition.

Le *sel gemme impur* n'a pas d'usage. Il ne peut être consommé par les animaux et il est impropre à la fabrication de la soude : aussi ne l'utilise-t-on que comme remblais.

On a essayé de traiter la *polyhalite* pour en retirer le sulfate de potasse. Malheureusement, même après pulvérisation, elle ne se dissout qu'avec une extrême lenteur et le sulfate de magnésie est toujours beaucoup plus abondant dans la solution que le sulfate de potasse.

Voici la composition d'une solution de polyhalite obtenue au bout d'un mois de digestion à 20° :

$KO.SO^3$	$CaO.SO^3$	$MgO\,SO^3$	Eau
2,81	0,16	5,76	91,97

Elle n'est donc pas utilisable industriellement.

3e ZONE. — GROUPE DE LA KIESÉRITE

Cette zone a une constitution complexe. A la base, elle renferme encore un peu de sel magnésien. Puis, peu à peu, le magnésium se condense dans la *kiesérite*. Enfin apparaît la carnallite formant la transition à la quatrième zone et d'abord mélangée aux autres sels dans les proportions suivantes :

Carnallite.	Kiesérite.	Anhydrite.
44	25	31

On a, quelque temps, un mélange de kiesérite et de carnallite; puis la première va diminuant. A la partie supérieure, apparaît alors la stassfurtite en rognons et en couches discontinues. La composition moyenne de ce groupe est la suivante :

Sel gemme.	Kiesérite.	Carnallite.	Anhydrite.	Stassfurtite.
65	19	14	2	0,1

La puissance moyenne du groupe est de 25 mètres représentant, vu l'inclinaison, une hauteur de 56.

La *kiesérite*, qui en forme l'élément essentiel, est un sulfate de magnésie hydraté, ne renfermant, comme M. Bischoff l'a montré, qu'un seul équivalent d'eau.

Elle est, soit amorphe comme à Douglas-Hall, soit cristallisée en prismes clinorhombiques. Elle est demi-transparente, d'un blanc grisâtre, parfois rouge clair. A l'air, elle devient terne, entre en déliquescence et se transforme partiellement en *epsomite* ($MgO\,So^3 + 7\,HO$.)

Elle renferme, toujours à l'état de mélange, du chlorure de sodium et du chlorure de potassium. Voici l'analyse d'un morceau très pur :

MgO.SO³	Mg Cl	K Cl	Na Cl	HO	Résidu insoluble.
70,8	6,2	1,8	0,4	20,6	0,2

Ce qui correspond à :

Kiesérite.	Carnallite.	Chlorure de potassium hydraté.	Sel gemme.	Eau.	Résidu insoluble.
81,4	6,7	8,3	0,4	3,0	0,2

Débarrassée des chlorures imprégnants et de l'eau qu'ils absorbent, la kiesérite offre la composition suivante :

SO^3	MgO	Eau.
58.07	29,03	12,90

Ces chiffres correspondent à la formule : $MgO\ SO^3 + HO$.

A 100°, la kiesérite ne dégage pas d'eau; il est nécessaire de calciner fortement pour chasser l'équivalent d'eau. Le poids spécifique de la kiesérite est de 2,50 à 2,57; sa dureté, 2,5 à 3.

Mise en présence de l'eau, la kiesérite commence par en absorber une grande quantité en se transformant en une masse solide ayant la consistance du ciment et en augmentant beaucoup de volume. Elle se dissout ensuite lentement : 40 parties pour 100 parties d'eau; aussi l'avait-on longtemps considérée comme insoluble.

La kiesérite se présente en couches de 2c,5 à 3 centimètres d'épaisseur, mais s'élevant parfois jusqu'à 30 centimètres; elles alternent avec les couches de sel gemme, mais moins régulièrement que les couches d'anhydrite et de polyhalite que nous avons rencontrées dans les deux premières zones.

4e ZONE. — GROUPE DE LA CARNALLITE. — ZONES ACCESSOIRES DE LA KAÏNITE ET DE LA SYLVINE

Ce dernier groupe qui est le siège principal de l'exploitation renferme un grand nombre de sels, principalement la carnallite, la kiesérite, la kaïnite, la stassfurtite, la sylvine, que nous étudierons successivement.

La *carnallite* d'abord, qui en est l'élément caractéristique, est un chlorure double de potassium et de magnésium dont l'analyse est la suivante :

	ÉCHANTILLON rouge	ÉCHANTILLON gris pâle presque transparent	ÉCHANTILLON industriel très riche	ÉCHANTILLON industriel de bonne qualité
KCl	24,27	27,43	21,80	19,76
CaCl	2,62	»	»	»
NaCl	5,10	0,23	7,95	15,67
MgCl	31,46	35,03	29,53	27,70
CaO SO^3	0,84	1,14	10,20	10,10
SiO^2Bo, O^3, etc.	»	»	1,20	0,15
Fe^2O^3	0,14	»	»	»
MgO CO^2	»	»	»	1,50
Eau et pertes	35,57	36,17	29,32	25,15
	100,00	100,00	100,00	100,03

Ces chiffres correspondent à la formule:

$$KCl + 2MgCl + 12\,HO$$

Le poids spécifique est de 1,68.

La carnallite pure est blanche et transparente. En général, sa couleur varie du jaune au rouge brique par suite des impuretés qu'elle renferme.

Elle présente presque toujours une texture grenue formée de gros grains cristallins appartenant au système orthorhombique et à symétrie voisine du système hexagonal. L'éclat est moins vitreux que celui du sel gemme, le clivage plus net; la solubilité et surtout la déliquescence beaucoup plus grandes.

La carnallite forme, à la partie supérieure du gisement salin, des assises stratifiées d'une épaisseur variable, au maximum de 2 mètres. Elle alterne avec des bandes de sel gemme incolore et de kiesérite[1], ces dernières de quelques centimètres de puissance et diminuant d'épaisseur à mesure que l'on monte.

Les assises de carnallite sont elles-mêmes subdivisées en bancs présentant chacun une coloration uniforme. Ces colorations varient du gris bleuâtre (matières bitumineuses), au rose ou au rouge intense produit par l'oxyde de fer.

Au toit de la couche, où les substances bitumineuses sont en

[1] Voir plus loin pour la kiesérite.

assez grande quantité, la carnallite renferme des cristaux octaédriques de sel gemme que l'on peut séparer par une dissolution concentrée de ce sel et qui paraissent dus aux matières bitumineuses.

La carnallite renferme encore des cristaux d'anhydrite irrégulièrement disséminés, incolores ou légèrement violets, d'une densité de 2,97, qui affectent la forme de prismes quadrangulaires obliques, biscautés à leur base.

Action de l'eau. — Mise en présence d'une quantité d'eau insuffisante, la carnallite se dédouble exactement en donnant les chlorures de potassium et de magnésium, et ce dernier seul se dissout.

Si l'on augmente la proportion d'eau et que l'on dissolve entièrement un échantillon de carnallite rouge, on obtient un résidu presque entièrement formé d'oxyde de fer. C'est ce dernier corps qui, intercalé dans la masse en écailles minces paraissant alignées suivant des surfaces planes, donne au sel un aspect irisé comparable à l'aventurine.

Pour étudier ce résidu, après avoir séparé les chlorures par l'eau, on se débarrasse de l'anhydrite par ébullition avec le carbonate de soude et reprise par un acide étendu. On obtient alors un résidu de 0,075 p. 100 du poids total de carnallite, ainsi composé :

Fe^2O^3	Quartz.	Argile.	Matières organiques.
94,5	1,9	0,4	3,2

Au microscope et à la lumière polarisée l'oxyde de fer apparaît sous forme de tablettes hexagonales ou rhomboïdales, colorées en jaune vif, en rouge ou en brun, et se rapproche beaucoup de l'*eisenrahm* que l'on trouve dans les grauwackes du Harz et qui paraît être une variété de fer oligiste. Cependant une expérience faite avec beaucoup de soin n'a pas permis à M. Fuchs de se prononcer d'une façon absolue sur l'absence d'eau et il se peut que l'oxyde de fer de la carnallite soit un mélange de goethite (Fe^2O^3HO) et de fer oligiste.

A côté du fer, le corps le plus abondant renfermé dans la carnallite est le quartz en beaux cristaux bipyramidés généralement incolores et présentant parfois une teinte rouge. Ces cristaux ont

0^{mm}, 166 de long et 0^{mm}, 06 d'épaisseur. Dans la partie moyenne du gisement, on trouve beaucoup de fragments de cristaux qui semblent avoir été roulés et qui sont quelquefois l'objet d'une deuxième cristallisation.

On trouve aussi, dans le résidu, de longues aiguilles rouges bien visibles au microscope ; comme elles sont insolubles dans les acides concentrés, on admet que c'est du *rutile*, minéral souvent associé au quartz.

En colorant la liqueur où se dépose le résidu, on voit apparaître de petits cristaux du système cubique, incolores, qui affectent les formes caractéristiques de la *boracite*. Ce fait se produit surtout pour les parties hautes du gisement.

A Stassfurt, mais pas à Douglas-Hall, on trouve encore de rares cristaux jaunes, toujours fort petits, que M. Finker croit être de l'*alun*. Ils donnent en effet, chauffés dans un tube, de la potasse et de l'acide sulfurique.

Citons encore de nombreux cristaux de *pyrite* en cubo-octaèdres, très bien cristallisés, et d'*anhydrite* en petits amas ou en fragments.

La carnallite renferme enfin de nombreux débris microscopiques de *matières organiques*. Ils ont été étudiés par M. Schmidt qui a cherché à les rattacher à la flore et à la faune de l'époque.

En même temps que la carnallite, nous avons mentionné, dans la zone supérieure, la présence de quelques autres sels.

L'un d'eux qui n'a été découvert qu'en 1865, dans la mine d'Anhalt, la **kaïnite**, forme comme nous l'avons vu sur la coupe, une zone assez continue à la partie supérieure de la carnallite et est devenu, par suite de ses propriétés comme engrais potassique, l'objet d'une exploitation importante.

La kaïnite résulte de la combinaison d'un chlorure avec un sulfate, mais on n'est pas d'accord sur sa formule chimique. Voici deux opinions :

$$KCl + 2MgO.SO^3 + 6HO \text{ (Tschermak).}$$
$$KO.SO^3 + MgO.SO^3 + MgCl + 6HO \text{ (Frank).}$$

Le premier groupement est le plus généralement admis ; cepen-

dant, à l'air humide, la kaïnite se dédouble en chlorure de sium et sulfate double de potasse et de magnésie.

La kaïnite pure est jaune, transparente ; elle possède spécifique de 2,13. Elle est plus abondante dans la mine qu'à Stassfurt.

On admet généralement que la formation de la kaïnite térieure au dépôt du gisement salin. La carnallite et la l auraient donné, avec le temps, de la sylvine, de la kaïni chlorure de magnésium.

Les autres produits accessoires de cette zone supérie la *sylvine*, la *stassfurtite* et la *tachydrite*.

a). **Sylvine (Kcl).** — La sylvine ou chlorure de potass a été trouvée en rognons allant jusqu'à 3 kilogrammes et de kiesérite dans la zone de la carnallite à Anhalt. A S on l'a découverte tapissant des druses et formant de ma cristaux en cubo-octaèdres ayant jusqu'à 8 millimètres Sa densité est 2, sa dureté 2. Sa couleur varie du blanc o transparent au rouge ou au bleu.

La sylvine est vraisemblablement un minéral de deuxi mation. On trouve, en effet, au toit des galeries, fréquem belles stalactites formées de chlorure de potassium.

A l'air humide ou même dans la mine, la carnallite l'humidité ; il se produit le dédoublement du sel et une tion incessante du chlorure de magnésium, avec enrich du résidu en potasse, finalement production de sylvine.

L'analyse suivante montre comment les eaux d'infilt chargent de chlorure de magnésium et transportent les sels à la partie inférieure du gisement :

EAU D'INFILTRATION D'UNE GALERIE AU TOIT

$CaO\,SO^3$	$NaO\,SO^3$	Na Cl.	Mg Cl.	Mg Br.	Eau e
traces	0,06	2,47	32,50	0,04	64

b). **Stassfurtite.** — La stassfurtite est un sel double de b soude et de chlorure de magnésium. Elle se présente so formes : soit en petits cristaux appartenant au système

s dans la partie haute du gisement à Stassfurt et à
ll, soit en masses concrétionnées ou rognons ayant fré-
0m,25 de diamètre et pesant 10 à 12 kilogrammes. Ces
recouvertes d'une mince pellicule de 2 à 3 millimètres
de matières salines. A Stassfurt et à Léopoldshall, c'est
ıe et la tachydrite qui forment cette gaine.
:e de la stassfurtite est tantôt unie, tantôt écailleuse ou
hoïdale. Son éclat, très vif au sortir de la mine, se ter-
:ment à l'air. La carnallite à laquelle elle est mélan-
rme souvent le noyau des rognons, et le chlorure de
dont elle est imprégnée dans une proportion qui varie
. 100, lui communiquent une déliquescence très grande,
l'état pur elle est presque entièrement insoluble dans

é de la stassfurtite est de 2,70 ; sa *dureté* évaluée tan-
ntôt à 4, ce qui doit tenir à la différence des échan-

r de la stassfurtite varie du jaune très clair au brun et
:tte dernière coloration coïncide avec une proportion
:ide phosphorique probablement combinée à du fer et
s'élever à 0,4 p. 100. Dans les rognons, le noyau de
osée et transparente est souvent découpé en petits
ar des feuillets minces de stassfurtite, ce qui donne un
)lé à la cassure.
parties hautes du gisement, la stassfurtite ou les petits
stassfurtite sont agglomérés en couches très minces,
:nt stratifiées, peu continues et qui sont seulement réso-
icroscope. Ces petits cristaux, qui sont un peu allongés,
lant sans action sur la lumière polarisée (des Cloizeaux),
équent appartiennent au système cubique.
le chimique de la stassfurtite a été très difficile à éta-
nsidérait tout d'abord, et c'était l'avis de MM. Ludwig,
Ieintz qui ont fait les premiers travaux, que le chlo-
gnésium mélangé et l'eau faisaient partie de la subs-
résultait une composition différente de la boracite ordi-
ite, on a reconnu que, par lavage, on pouvait enlever
de magnésium mélangé et il restait une boracite

hydratée. Enfin, par des lavages prolongés et une dessiccation lente à 100°, M. Bischof et, après lui, M. Steinbeck, qui poussa l'opération jusqu'à 250°, ont conclu que la stassfurtite était un sel anhydre présentant bien la formule de la boracite, comme il en a le système cristallin. Voici ces différentes analyses :

	Ludwig	Heintz et Sievert	Bischof
Borate de magnésie . . .	82,34	87,61	89,39
MgCl	11,73	10,42	10,61
Eau.	5,93	1,97	»
	100,00	100,00	100,00

D'où les trois formules :

Ludwig : $5\,(3.MgO.4BoO^3 + HO) + 3\,(MgCl + HO)$.
Heintz et Sievert : $2\,(3\,MgO.4\,BoO^3) + MgCl + HO$.
Bischof : $2\,(3MgO.4BoO^3) + MgCl$.

c). **Tachydrite.** — La tachydrite est un chlorure double de calcium et de magnésium.

C'est une substance d'une déliquescence extrême, amorphe avec deux faces de clivage assez nettes et d'une couleur qui varie du jaune de cire au jaune de miel.

La solubilité est très grande, 100 parties d'eau pouvant, à 18 degrés, dissoudre 160 parties de sel. Il y a probablement combinaison avec l'eau, car la température s'élève de 7°. La carnallite, la sylvine et le sel gemme, dans les mêmes circonstances, provoquent des abaissements de 11, 2 et 3 degrés.

La tachydrite se trouve en veines minces à une distance de 10 à 15 mètres du toit du gisement.

L'analyse faite par M. Rammelsberg a fourni les résultats suivants :

Calcium.	Magnésium.	Chlore.	Eau et pertes.
7,46	9,51	40,34	42,69

ce qui correspond à la formule :

$$CaCl + 2MgCl + 12\,HO.$$

C'est donc une carnallite, où le calcium a remplacé le potassium.

Enfin, dans l'étage de la carnallite, on a rencontré quelques curiosités minéralogiques :

L'*epsomite* ou *bittersalz* : $MgO\ SO^3 + 7\ HO$.

La *schönite* : $KO.SO^3 + MgOSO^3 + 6HO$.

L'*astrakanite* : $NaO.SO^3 + MgO\ SO^3 + 4HO$.

M. Hammerbacher a signalé, dans la carnallite de Stassfurt, la présence du *cæsium*, du *rubidium* et du *thallium*. La carnallite de Douglas-Hall ne renferme jusqu'ici que les deux premiers. La sylvine de Stassfurt contient aussi du rubidium et du cæsium, mais pas de thallium.

En résumé, la *composition moyenne de la quatrième zone* est la suivante :

Carnallite et chlorure de magnésium .	58	(dont 4 de MgCl).
Chlorure de sodium	25	
Kiesérite	16	
Anhydrite	1	
Stassfurtite et tachydrite	0,1	

Cette zone a une épaisseur de 42 mètres en moyenne à Stassfurt et Anhalt.

TOIT DU GISEMENT

Le toit du gisement est formé, comme nous l'avons vu, d'argiles salifères, puis d'anhydrite et de gypse. Au-dessus, nous rappellerons qu'il existe (d'après les travaux du puits de Neu-Stassfurt et de la mine de Douglas-Hall) une puissante couche de sel gemme.

Cette couche est elle-même surmontée d'argiles salifères renfermant des cristaux de sel gemme colorés et présentant une forme rhomboédrique avec un mince enduit quartzeux.

Ces cristaux sont une pseudomorphose de cristaux originels de sel gemme, lesquels ont été dissous par l'eau, le vide laissé ayant été déformé par pression, puis silicifié en partie et enfin rempli à nouveau de chlorure de sodium.

Cette couche d'argile est surmontée, par places, d'une couche importante de glaubérite.

MODE DE FORMATION DU BASSIN DE STASSFURT[1]

La première idée, la plus simple et la plus naturelle qui se présente à l'esprit pour expliquer la formation du gisement de Stassfurt et, plus généralement, celle de toutes les couches de sel et de gypse, c'est l'évaporation d'un bassin marin fermé, séparé de la pleine mer par quelque dénivellation géologique. La question devant se représenter à nous quand nous traiterons du chlorure de sodium et du sulfate de chaux, nous y insisterons un peu longuement.

Quand de l'eau de mer s'évapore à la température ordinaire, il se produit successivement une série de dépôts comparables à ceux de Stassfurt ; ce sont ces dépôts qu'il convient tout d'abord d'étudier avec soin pour en reconnaître l'ordre et la nature ; nous en emprunterons la description à M. Dieulafait[2].

Tout d'abord, il se précipite un faible produit constitué par du *carbonate de chaux avec traces de strontiane* et du sesquioxyde de fer hydraté, mêlé à une légère proportion de manganèse. Sans déposer d'autres corps que ceux-là, une couche d'eau de mer de 1 mètre d'épaisseur diminuera jusqu'à une épaisseur de $0^m,20$.

A ce moment, elle abandonne un abondant précipité de *gypse*, identique à celui des terrains géologiques, et cela jusqu'à ce que l'épaisseur ne soit plus que de $0^m,12$.

Puis, il y a un arrêt dans le dépôt jusqu'à ce que l'épaisseur soit réduite à $0^m,10$ et, cette fois, c'est du sel gemme qui se précipite. La distinction entre ces deux phases est si nette que les paludiers en profitent pour faire passer l'eau qui vient de déposer son gypse dans les bassins ordinaires, dans des bassins spéciaux où l'on obtient une couche de sel pur.

Lorsque l'eau n'a plus que $0^m,05$, le sel devient amer, il s'y joint du sulfate de magnésie arrivant, pour une épaisseur de

[1] La théorie, professée par M. Fuchs pour la formation du gite de Stassfurt et généralement de la plupart des gisements salins, avait, pour point de départ, des actions internes. C'est également l'idée émise pour Stassfurt, par M. de Lapparent dans son *Traité de Géologie* (1re édition, p. 769).

[2] *Revue scientifique*, 8 juillet 1882.

$0^m,03$, a être en proportion égale à celle du sel ; c'est le *sel mixte*.

Enfin, quand l'eau est réduite à $0^m,02$, il se dépose de la *carnallite*.

Après quoi, il reste encore une *eau mère*, riche en chlorure de magnésium et contenant une certaine quantité d'acide borique qui, dans les conditions ordinaires, même dans les régions les plus chaudes du globe, ne se dessèche jamais.

Ainsi, nous voyons que l'évaporation complète d'une lagune à la température ordinaire laisserait la succession des dépôts suivants qui rappelle évidemment la coupe de Stassfurt :

1. En haut : Sels déliquescents renfermant surtout du chlorure de magnésium avec un peu d'acide borique.
2. — Carnallite.
3. — Sel mixte, chlorure de potassium, sulfate de magnésie.
4. — Sel marin mélangé de sulfate de magnésie.
5. — Sel marin pur.
6. — Gypse pur.
7. — Faible dépôt de calcaire avec sesquioxyde de fer.

Il existe cependant, entre cette série et celle de Stassfurt, des différences notables qui sont les suivantes :

1° *Substitution* de l'*Anhydrite au gypse* à Stassfurt, ainsi que de la *Kiesérite* à 1 *équivalent d'eau* au *sulfate de magnésie* à 7 *équivalents d'eau ;*

2° *Alternances régulières* d'*anhydrite* et de sel gemme ;

3° *Présence des composés du Bore*, *hydroboracite* et *Stassfurtite* à la partie inférieure du gisement ; alors que le peu d'acide borique constaté dans la mer par M. Dieulafait semble plutôt se concentrer avec les derniers sels déliquescents ;

4° *Existence de l'oxyde de fer anhydre* dans tous les résidus ;

5° *Existence de la Tachydrite* (Ca Cl + 2 Mg Cl + 12 Ho) au-dessus des dépôts sulfatés.

Nous reviendrons sur l'interprétation qu'on peut donner de ces divers faits ; mais, auparavant, il est nécessaire d'expliquer un point beaucoup plus essentiel et assez extraordinaire : c'est la formation, dans toute une région étendue, de couches de sels atteignant 1500 mètres d'épaisseur à Sperenberg, 500 mètres au moins à Stassfurt. Cette quantité de sel exigerait en effet, d'après le calcul

précédent, une énorme épaisseur primitive d'eau de mer, épaisseur sous laquelle on ne conçoit pas bien comment l'évaporation aurait commencé, d'autant plus qu'elle correspondait à un bassin très développé (toute l'Allemagne du Nord); en outre, on se trouverait amené à admettre, postérieurement au dépôt, un soulèvement du fond ayant exactement compensé la profondeur dont il avait fallu supposer la mer primitivement creusée.

C'est cette difficulté que Bischof et Ochsénius ont levée (fort justement à notre avis), en se fondant principalement sur les observations de Baer dans ses études sur la mer Caspienne et que M. Dieulafait a résolue d'une façon encore plus nette, pour l'ensemble des gisements salifères, par l'observation des étangs du delta du Rhône.

1° **Mer Caspienne.** — A l'Est de la mer Caspienne, en face de Bakou (où nous avons eu à étudier des gisements de pétrole)[1], se trouve un lac nommé le *Karabogaz* ou gouffre noir, situé au milieu d'un pays absolument désert où pas un être ne vit.

Le *Karabogaz* ne communique avec la Caspienne que par un canal de 150 mètres de large dont la profondeur, au voisinage du lac, n'est que de $1^m,50$.

L'évaporation étant très active, il se produit un afflux constant de l'eau de la Caspienne, n'apportant pas moins, d'après des calculs, de 350 000 tonnes de sel par vingt-quatre heures et le Karabogaz est aujourd'hui presque saturé.

Bientôt donc commencera à se déposer du gypse en quantités d'autant plus grandes que l'afflux d'eau de la Caspienne empêchera, pendant longtemps, le sel de se précipiter. Mais la Caspienne elle-même reçoit, par le Volga, moins d'eau qu'elle n'en perd par évaporation; son niveau est déjà à 3 mètres au-dessous de celui de la mer Noire. Pour peu qu'il baisse encore, la communication se fermera entre la Caspienne et le Karabogaz qui deviendra un bassin simple d'évaporation où la quantité de sel, accumulée par suite de l'afflux mentionné plus haut, sera de beaucoup supérieure à celle qui correspondrait normalement à la profondeur de mer.

[1] Page 94.

2° Etangs du delta du Rhône. — Il se passe à l'embouchure du Rhône quelque chose de comparable. On a pu calculer d'une manière assez précise que le Rhône apportait, par an à la mer, au moins 21 millions de mètres cubes d'alluvions qui, n'étant pas entraînés très loin, faisaient avancer constamment la côte. Depuis le IVe siècle, on admet qu'il a été gagné ainsi 10 kilomètres.

Le dépôt se faisant surtout aux embouchures, il en résulte de véritables digues enfermant une série de bassins salés fermés qui conservent généralement une communication avec la mer par un canal peu profond.

Dès lors, dans chacun de ces bassins, à mesure que l'évaporation se produit et abaisse le niveau de l'eau, la mer comble le vide résultant par de nouvelle eau salée sans que jamais les couches de salure plus intense, tombées au fond, puissent s'échapper. L'étang arrivera donc, un jour, sans que le canal s'obstrue, à une concentration telle que les dépôts commenceront à se faire et que la vie disparaîtra. Au contraire, le canal vient-il à s'obstruer, comme cela s'est produit depuis des siècles pour l'*étang de Lavalduc* où l'eau est aujourd'hui à 15 mètres au-dessous de la Méditerranée, l'évaporation seule donnera, dans ce bassin fermé, la succession des dépôts étudiés par nous au début. A Lavalduc, on peut voir, dès aujourd'hui, une couche de gypse reposant sur une marne à coquilles marines.

D'autre part, il est facile d'expliquer la possibilité d'une alternance de couches à coquilles d'eau douce et marines, comme on en a constaté parfois dans des bassins de gypse ; qu'une crue du fleuve, qu'une tempête en mer rompe, en effet, le barrage, la vie reparaîtra un moment dans le bassin, on aura une nouvelle couche d'argile à coquilles jusqu'à ce que le gypse, au-dessus, recommence à se déposer de nouveau. Il pourra même arriver que le fleuve se refasse un passage à travers le bassin et qu'on ait ainsi des couches d'eau douce au-dessus du gypse.

L'examen du delta du Rhône nous fait donc comprendre, comme l'étude du Karabogaz, la possibilité de dépôts salins très épais sans qu'il ait existé autrefois des dépressions et des profondeurs d'eau de mer extraordinaires ; il nous permet aussi, sans faire intervenir de grands mouvements de l'écorce, d'expliquer des alternances de

couches gypseuses sur des marnes soit marines, soit d'eau douce. Il nous montre enfin, par l'inspection de tous ces lacs isolés, comment on peut voir (ce qui est le cas général), un horizon gypseux ou salifère d'un âge bien déterminé composé d'une série de lentilles nettement isolées les unes des autres.

Pour expliquer les *alternances d'anhydrite et de sel* dans la zone inférieure de Stassfurt, Bischof avait, en outre, observé, près des bouches occidentales du Volga, l'existence d'innombrables filets d'eau, les *limanes* qui se chargent de sel dans les régions désertiques, et viennent l'accumuler dans de petites dépressions (comme les lacs Bogdo et Elton). Ces lacs fermés et ainsi alimentés de matières salines déposent alternativement du sulfate de chaux (moins soluble que le sel) pendant la saison pluvieuse et du sel à la saison sèche. Les *jahrringe* d'anhydrite de Stassfurt correspondraient alors à des saisons successives : d'où le nom (anneaux d'un an) qu'on leur a donné. Ochsénius, qui a repris et développé les idées de Bischof, et auquel on doit une théorie très étudiée de Stassfurt, s'est contenté de supposer des variations alternatives de conditions climatériques, ayant leur contrecoup dans l'évaporation du bassin, sans affirmer d'une façon aussi précise que ces variations étaient annuelles. On ne peut se dissimuler qu'en dépit de cette interprétation, il reste, dans la régularité des alternances d'anhydrite, quelque chose d'insuffisamment expliqué.

Nous arrivons à la dernière objection, opposée à la théorie de l'évaporation, celle tirée de la *présence de certains sels anhydres* ou incomplètement hydratés.

M. Reichardt a émis, à ce propos, l'avis que l'anhydrite et la kiesérite s'étaient d'abord déposées hydratées à l'état de gypse et de sulfate de magnésie à 7 équivalents d'eau, et que leur déshydratation était postérieure et due à l'action absorbante des sels déliquescents précipités.

Cette explication ne paraît pas admissible pour deux raisons :

1° Les sels déliquescents, se déposant au sein d'un liquide, ont dû entraîner leur eau de constitution;

2° Ils sont généralement placés au-dessus des bancs d'anhydrite ou, tout au moins, en sont séparés par du sel gemme : substance,

elle, dépourvue d'eau, et sur laquelle leur action absorbante aurait dû s'exercer.

M. Bischof est parti d'une autre idée; pour lui, les sels se sont déposés avec leur proportion d'eau normale dans une mer qu'il suppose à 50° et leur déshydratation résulte d'échauffements accidentels à 100° : température nécessaire également, comme nous le verrons, pour expliquer la présence de l'oligiste dans la carnallite. M. Ochsénius s'est fondé, pour le soutenir, sur des expériences de laboratoire qui lui ont montré :

1° Que la déshydratation du gypse peut commencer, sous l'influence de la pression, à une température inférieure à 100°;

2° Qu'en présence des chlorures alcalins, les sulfates alcalins et alcalino-terreux peuvent donner des composés moins solubles et présentant les formules suivantes :

$$2\,CaO.\,SO^3 + KO.SO^3 + 3\,HO.$$
$$CaO.\,SO^3 + KO.SO^3 + HO.$$
(Polyhalite) $$2\,CaO.SO^3 + KO.SO^3 + MgOSO^3 + 2\,HO.$$
$$3\,CaO.SO^3 + KO.SO^3 + 2\,MgOSO^3 + 3\,HO.$$

Ces composés qu'il a considérés comme du gypse où un équivalent d'eau serait remplacé par un équivalent de sulfate, se précipitent à des températures de 40 à 60° qui paraissent compatibles, suivant M. Ochsenius, avec les conditions de formation du gisement.

La décomposition de ces sels donnerait ultérieurement, d'après lui, les bancs d'anhydrite. Quant à la polyhalite, elle se formerait souvent en même temps que le dépôt de sel gemme.

Ces expériences sont intéressantes; elles mettent en lumière certaines réactions, certaines associations qui ont certainement joué un rôle important dans la constitution des bancs de Stassfurt. Il faut reconnaître toutefois qu'elles n'expliquent point complètement la difficulté principale qui réside dans le fait de l'alternance répétée des filets d'anhydrite au milieu du sel gemme. On ne comprend point le dépôt si régulier de ces couches minces de sulfate de chaux anhydre au sein du sel gemme. Ce ne sont point des sulfates multiples comme dans les expériences, et, en outre, il n'y a pas trace d'eau.

De plus, elles n'indiquent ni le mode de formation de la *tachydrite*, ni celui du *fer oligiste*, impossible à faire cristalliser dans une dissolution, par les moyens actuellement connus, à moins de 100°.

Nous croyons néanmoins que c'est de ce côté qu'il y a lieu de chercher l'interprétation des anomalies observées à Stassfurt, et que la chaleur développée par les réactions chimiques diverses qui se sont certainement produites au milieu de ces masses de sels divers, plus ou moins déliquescents, a dû être l'élément principal de la déshydration de certains d'entre eux.

Quant *aux bancs de gypse*, M. Ochsenius, à l'inverse de Bischof, les suppose formés par l'hydratation de l'anhydrite provenant des sels doubles dont nous venons de parler plus haut.

Restent les *sels déliquescents* des 3e et 4e zones. Après le dépôt du sel gemme, de l'anhydrite et de la polyhalite, M. Ochsenius suppose que le canal de communication, qui reliait, vers le Nord-Ouest, le bassin de Stassfurt à la mer, a été fermé par une cause quelconque, facile à imaginer.

Les eaux se sont alors peu à peu évaporées en se concentrant dans les parties basses. Sous l'influence d'une température élevée, elles ont déposé la kiesérite, puis la carnallite.

Après le dépôt de celle-ci, les eaux sont restées chargées de chlorure de magnésium, mais les érosions des falaises ont rapidement recouvert la couche des sels potassiques d'un toit protecteur d'argile. Le chlorure de magnésium s'est infiltré dans l'ensemble de la masse, ainsi que ce qui restait de sel marin. De cette façon, on aurait la formation des argiles salifères de Douglas-Hall, présentant des phénomènes de pseudomorphose.

Plus tard, la mer aurait fait irruption de nouveau pour créer les couches supérieures de gypse, d'anhydrite, de sel gemme et de glaubérite trouvées à Westeregeln, à Neu-Stassfurt, etc... Il y aurait eu donc là un double jeu de bascule.

Au sujet des *borates*, M. Ochsenius invoque encore une origine sédimentaire. S'appuyant sur les recherches de Forschammer, lequel a démontré la présence du bore dans l'eau de mer, et sur les observations faites dans les *lacs d'Iquique* où le bore se précipite le dernier avec les sels magnésiens, M. Ochsenius admet, par une

théorie reprise plus tard par M. Dieulafait, que ces nodules de boracite, pesant jusqu'à 1 400 kilogrammes, ont été formés par la concentration successive de l'acide borique et de ses sels. La découverte de l'*hydroboracite* dans les parties inférieures du gisement reste inexpliquée dans cette théorie.

En résumé, on ne saurait se dissimuler que, malgré tous les travaux qui ont été faits sur cette question importante, il reste, dans la théorie de la genèse du bassin de Stassfurt, des points obscurs; en particulier, l'origine de la température de 100° que beaucoup de faits conduisent à supposer, au moins pendant certaines périodes de l'évaporation. D'une façon générale, nous venons de dire que nous attribuions un rôle prépondérant à la chaleur développée par les réactions chimiques. M. Fuchs, dans un mémoire de 1865, avait, en outre, proposé d'admettre, au fond du bassin, l'existence de sources chaudes ayant apporté, à la façon des soffioni de Toscane, des bouffées d'acide borique.

Quoi qu'il en soit de ces questions de détail, on peut supposer avec Ochsenius qu'il s'est formé, à la fin de l'époque permienne, au N.-E. des gisements salins actuels, un barrage, allant d'Helgoland à la porte de Westphalie, qui a déterminé, dans toute l'Allemagne du Nord, la formation de grandes lagunes salées comparables aux étangs des Bouches-du-Rhône, alimentées de sel par un afflux constant de la mer, et ayant bientôt commencé à s'évaporer.

Alors se seraient déposées, d'abord une couche de gypse inconnue jusqu'ici, qu'on suppose devoir occuper le fond du bassin, puis une couche de sel gemme couvrant, avec plus ou moins de lacunes, toute l'Allemagne du Nord. Là se sont bornés les phénomènes dans la plupart des points; mais, autour de Stassfurt, on a vu, à ce moment, peut-être par un simple déplacement des alluvions, peut-être aussi par un mouvement de plissement du sol, le bassin salin se fermer complètement, et, dès lors, les sels déliquescents, la polyhalite, puis la kiesérite et la carnallite se déposer.

Enfin une nouvelle irruption de la mer par le N.-O. a produit la couche de sel récente de Douglas-Hall.

PRODUITS INDUSTRIELS DE STASSFURT. — ENGRAIS POTASSIQUES

Nous passerons rapidement en revue les divers produits vendus à Stassfurt, en donnant leurs prix approximatifs [1]. Le mode de préparation de ces corps a été, en 1888, l'objet d'un mémoire important de M. Janet dans les *Annales des Mines*. Les principaux sont le sel gemme, la carnallite ou kalisalz, la kaïnite, la kiesérite et la stassfurtite.

Sel gemme. — Le tableau suivant donne, pour le sel gemme, la statistique de 1877 :

QUALITÉ	PRIX DE VENTE PAR 100 KILOGR.	PRODUCTION en tonnes
Sel gemme en blocs, le plus pur (Fördersalz ou Krystallsalz)	2 fr. 50 + 15 fr. d'impôt.	4357[t] (Fördersalz) 375[t] (Krystallsalz)
Sel blanc moulu (Speisesalz)	1re qualité, 2 fr. 50 ; 2e qualité, 2 fr. 125 ; 3e qualité, 1 fr. 50 — + 15 fr. d'impôt.	3.552[t]
Sel commun moulu pour usines (Fabriksalz)	1 fr. 125 + 0 fr. 25 pour la dénaturation.	35.049[t]
Sel de bétail moulu (Viehsalz)	2 fr. 25 et 2 fr. 125 + 0 fr. 125 de dénaturation.	3.452[t]
Sel moulu pour Leckstein	1 fr. 50 + 0 fr. 125 de dénaturation.	4.201[t]
Leckstein à 3^k *et* $2^k,5$ *par blocs*	2 fr. 75.	1.205[t]

Le sel le plus pur provient des assises les plus profondes de la mine ; on a essayé sans succès de le débarrasser de l'anhydrite qui diminue sa valeur en le soumettant à l'action d'un courant d'air ascendant. Il sert surtout pour les usages industriels, comme engrais, et un peu comme sel de cuisine.

[1] Ces prix, ne se rapportant pas tous à la même date, ne sont donnés qu'à titre d'indication.

Les *compositions* qui servent à fabriquer les leckstein mentionnés plus haut, sont l'une ou l'autre des suivantes :

1/4 p. 100 Oxyde de fer; 1/2 p. 100 Graine de vermouth ou gentiane.

1/4 p. 100 Oxyde de fer; 1/4 p. 100 Poussier de charbon ; 1 p. 100 de suie.

Carnallite (kalisalz). — Elle se paie aux mines, en raison du chlorure de potassium contenu, et que le traitement industriel a pour but de concentrer ou d'extraire. Nous donnerons plus loin (p. 459) le prix du chlorure.

Les *résidus du triage*, renfermant 12 à 15 p. 100 de carnallite, se vendent à l'agriculture ou pour mélanges réfrigérants, environ 0 fr. 90 les 100 kilogrammes.

La **Kaïnite** sert à l'agriculture comme engrais, par la potasse qu'elle contient ; la potasse étant, avec le phosphore et l'azote, un des trois éléments essentiels de la nourriture des plantes. On garantit en général 24 p. 100 de $KO\,SO^3$. On en extrait du sulfate de potasse qui vaut 27 fr. 50 les 100 kilogrammes.

Kiesérite. — Elle contient en général 70 p. 100 de kiesérite pure, soit 55 à 60 p. 100, de $MgO\,SO^3$.

Elle se vend 2 fr. 50 les 100 kilogrammes. Le plus souvent, elle est livrée à l'état de mélange avec la carnallite.

Le **Hartsalz**, fourni surtout par Léopold's-Hall, renferme :

Sylvine	18 à 20
Kiesérite	40 à 50
Sel gemme	30 à 40
Anhydrite	3 à 8

Il s'emploie pour amendement, à raison de 2 fr. 50 les 100 kilogrammes.

Stassfurite. — Les 100 kilogrammes valent 125 francs. Les ouvriers qui la recueillent touchent, paraît-il, 0 fr. 40 à 0 fr. 50 par kilogramme présenté.

Comme dérivés industriels, nous ajouterons :

le **chlorure de potassium**, extrait de la carnallite, qui valait, en 1888, environ 17 francs les 100 kilogrammes ;

la **kiesérite artificielle**. — Corps extrait de la carnallite qui sert pour la préparation des sulfates de magnésie, de potasse, de baryte (blanc fixe), et se vend 2 à 4 francs les 100 kilogrammes. On garantit généralement une teneur de 55 p. 100 en sulfate de magnésie ;

l'**épsomite**, extraite de la kiesérite ($MgO\,SO^3 + 7\,HO$); prix : 12 francs les 100 kilogrammes;

le **sulfate de soude**, extrait des résidus de la carnallite, qui se vend 9 à 10 francs les 100 kilogrammes. On l'utilise dans les verreries, dans la fabrication du carbonate de soude, etc. ;

le **chlorure de magnésium**, qui vaut 3 francs les 100 kilogrammes. On utilise un peu de ce corps dans l'industrie des tissus et celle du sucre de betterave ; il sert à la préparation du baryum, du calcium et du manganèse;

le **brome**, extrait des eaux mères par le chlore (voir, plus haut, au ch. *Brome*, p. 306) ;

le **sulfate de potasse**, extrait de la kaïnite. On s'en sert spécialement pour la fabrication des aluns ; il entre également dans la composition de certains verres ;

le **carbonate de potasse**, obtenu en partant du sulfate ou du chlorure; prix : 90 francs les 100 kilogrammes (utilisé pour la cristallerie et les savons mous);

l'**acide borique et le borax**, extraits de la stassfurtite ;

Parmi ces produits, il y a lieu d'insister sur l'importance énorme qu'ont prise, depuis 1865, les *engrais potassiques* de Stassfurt, engrais employés en particulier pour la culture de la betterave.

Le tableau ci-contre indique la composition des différents engrais que livre Stassfurt à l'agriculture, leur prix en 1887 et celui du kilogramme de potasse dans chacun d'eux. Ces prix, empruntés à M. Grandeau, sont établis pour les sels livrés en gare de Stassfurt; le transport par wagon de 10 000 kilogrammes, coûte, en outre, de Stassfurt à Paris (gare de La Villette) 33 fr. 50 par 1 000 kilogrammes. Tous ces sels sont vendus avec garantie de titrage de potasse.

Les kaïnites brutes, les chlorures trois et cinq fois concentrés

et le sulfate de potasse et de magnésie (n° 10) sont, de ces treize variétés d'engrais potassiques, les seules qui, à raison de l'éloignement du gisement et par suite de leur richesse, soient utilement employées par l'agriculture française.

DÉSIGNATION DES ENGRAIS	POTASSE GARANTIE	SULFATE DE POTASSE	CHLORURE DE POTASSIUM	SULFATE DE MAGNÉSIE	SEL MARIN	PRIX des 100 kil. de sel	PRIX du kil. de potasse
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	fr.	fr.
1. Sulfate brut de potasse	9 à 12	8 à 12	6 à 11	15 à 20	35 à 55	3,12	0,35
2. Sulfate de magnésie et de potasse. . .	15 à 18	28 à 33	»	21 à 25	25 à 40	5,50	0,38
3. Kainite brute . . .	12 à 13	22 à 24	»	16 à 18	30 à 40	2,50	0,21
4. Grugite	10 à 12	18 à 21	»	10 à 12	10 à 12	1,75	0,18
5. Engrais potassique concentré . . .	25	22	22	10 à 20	20 à 35	11,88	0,47
6. Engrais potassique 3 fois concentré .	30 à 33	»	50 à 55	5 à 10	25 à 40	15,12	0,31
7. Engrais potassique 5 fois concentré .	50 à 53	»	80 à 85	»	10 à 20	18,75	0,375
8. Sulfate de potasse n° 1.	50 à 52	90 à 95	»	»	1 à 4	27,50	0,55
9. Sulfate de potasse n° 2.	38	70	»	5 à 10	2 à 8	21,25	0,56
10. Sulfate de potasse et magnésie purifié.	26 à 28	50 à 52	»	32 à 36	2 à 6	15,12	0,50
11. Sulfate de magnésie brut	0,3	0 à 5	»	environ 60	»	2,50	»
12. Sulfate de magnésie purifié et calciné.	»	»	»	environ 80	»	4,37	»
13. Déchets de sel de Stassfurt	3 à 5	6 à 9	»	45 à 53	35 à 40	0,75	»

La constitution de ces mélanges de sels de potasse et de magnésie appellent deux observations : la première est leur teneur assez forte en sel marin. Introduits dans le sol à la dose de 200 à 300 kilogrammes, les sels de Stassfurt y amènent une quantité de sel marin qui ne peut présenter que des avantages, d'après les résultats de nombreuses expériences culturales, et notamment de celles du docteur Vœlcker en Angleterre. La seconde observation est relative au danger du chlorure de magnésium pour la végétation. Il a fallu, pour pouvoir utiliser les sels de Stassfurt comme fumure, détruire le chlorure par la chaleur ou par une épuration chimique.

La production de Stassfurt a été, en 1884, de :

344 798	tonnes	de sel gemme.
203 040	—	de kaïnite
979 597	tonnes	de kalisalz (carnallite) donnant 112 950 tonnes de chlorure de potassium.
12 388	—	de kiesérite.
159	—	de stassfurtiste.

Le bassin, avec sa production énorme, est aujourd'hui le régulateur presque unique du marché de la potasse. En dehors de Stassfurt, on n'a guère exploité de mines analogues qu'à *Kalusz*, en Galicie, et l'entreprise n'a pas donné de résultats fructueux. Cependant l'excès de la production à Stassfurt avait amené, il y a quelques années, un grand avilissement des prix qui a déterminé les fabricants de la région à limiter cette production en formant un syndicat. Le nombre des fabriques de produits chimiques est aujourd'hui d'une trentaine occupant environ 3 500 ouvriers.

Bibliographie du potassium.

1863. DE SELLE. — De la saline de Stassfurt. (*Cuyper*, t. XVII, p. 34.)

*1865. FUCHS. — Mémoire sur Stassfurt. (*Ann. d. M.*, 6e, t. VIII.)

KRAUSE. — Die Industrie von Stassfurt und Leopoldshalle.

PFEIFFER. — Handbuch der Kali-Industrie.

FRECHT. — Die Salz-Industrie von Stassfurt und Umgegend.

PRIETZE. — Sur les sels de Stassfurt.

SCHMIDT. — Sur la flore de Stassfurt.

1872. — Exploitation d'un gisement de chlorure de potassium à Kalut (Galicie). (*Cuyper*. t. XXXI, p. 174.)

1874. REINWARTH. — Ueber den Stein und Kali Salz Bergbau bei Westregeln (Stuttgart, *N. S. M.*, p. 616.)

1877. OCHSENIUS. — Die Bildung der Steinsalslager und ihrer Mutterlaugensalez unter spéc. Berück der Flötze im *Douglashall*.

1884. CADELL. — On *Stassfurt* Salt Deposits. (*Philosophical transactions of the royal Society*, 1884, p. 92.)

* 1888 JANET. — Sur le traitement industriel des sels de Stassfurt. (*Ann. d. M.*, 8e, t. XIV, p. 479.)

LITHIUM

Li ; Eq = 7 P. at = 7

La lithine est utilisée, depuis quelques années, en proportions relativement fortes, en thérapeutique, pour le traitement de la goutte et de la diathèse urique. Quoique ce produit ne soit administré qu'à très faibles doses (15 à 20 centigrammes par jour), il a atteint, en raison de sa rareté, un prix élevé et se vend, suivant le degré de sa pureté, de 40 à 50 francs le kilogramme.

La lithine n'existe que dans quelques minéraux, d'ordinaire assez rares :

la pétolite qui en contient 2, 7 à 5 p. 100 ;

la triphane 3 à 5 p. 100 ;

la tourmaline apyre de l'île d'Utoé (Suède), en gisements dans les gneiss ;

le mica lepidolithe de Bohême, 4 à 6 p. 100 ;

la triphylline de Bavière, 5 p. 100 ;

la tétraphylline de Suède, 8 p. 100.

En outre, on doit ajouter qu'elle se retrouve dans un grand nombre de sources thermales des régions granitiques, auxquelles on croit qu'elle prête certaines de leurs vertus curatives.

Jusqu'en 1886, à peu près toute la lithine consommée était extraite des micas lithinifères recueillis dans certaines haldes de mines d'étain de Saxe et de Bohême, à Zinnvald, en Saxe, par exemple.

En 1886, on a commencé à exploiter à Montebras[1] (Creuse), un filon d'un minéral rare, mentionné seulement jusqu'alors en Suède et en Saxe, l'amblygonite (2, Al^2 Ph^2 O^8 + 3 (Li, Na) Fl

[1] Notes de voyage, inédites (1891). Voir au chapitre de l'*Étain*.

qui en contient de 6 à 8 p. 100, et qui a, d'ailleurs, d'autres emplois pour fixer certaines matières colorantes en verrerie.

Montebras, situé dans un massif de granulite au voisinage de Boussac, est une ancienne mine d'étain où l'on a trouvé, en même temps que l'amblygonite, un fluophosphate analogue, la montebrasite, de la turquoise et de la wawellite.

L'amblygonite y existe en masses cristallines importantes, à cassure esquilleuse et lustrée, assez semblables à des feldspaths ou à de l'apatite, mais d'une teinte violacée particulière. En même temps qu'on y recueille l'amblygonite, on extrait un millier de tonnes de kaolin par an et on lave un peu d'étain. Cette industrie occupe quelques ouvriers.

L'amblygonite extraite est réduite en poudre, mélangée à du plâtre et calcinée à haute température; on reprend par l'eau et on précipite la lithine par le carbonate de soude à l'état de carbonate de lithine.

Bibliographie.

1879. S.-L. Penfield. — Chemical composition of Amblygonite. (*Am. J. Soc., of Sc.* juillet-septembre 1879, p. 295. Newhaven)

1882. Dieulafait. — Existence de la lithine et de l'acide borique en proportions notables dans les eaux de la mer Morte. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XCIV, nos 16 à 24, p. 1352. Paris, 17 avril, 12 juin 1882.)

1892. Mallard. Forme cristalline du carbonate de lithine. (*B. S. M.* 11 février 1892.)

1892. L. De Launay. — Feuille de Montluçon au $\frac{1}{80.000}$ et note sur la vallée du Cher dans la région de Montluçon. (*B. cart. géol.*, avr. 92.)

SODIUM

Na; Eq = 23. P. at = 23.

Usages. — Les principaux sels de sodium utilisés dans l'industrie sont les suivants :

Soude (à la chaux ou à l'alcool) ; fabrication des savons.

Sel gemme (ou chlorure de sodium). Usages domestiques, engrais, préparation de la plupart des autres sels de soude, en particulier du carbonate et du sulfate, vernissage des poteries, etc.

Cryolite, fluorure double d'aluminium et de sodium (Préparation de l'aluminium).

Sulfate de soude : fabrication du carbonate et du verre.

Sulfite de soude, employé comme antichlore pour enlever aux matières blanchies par le chlore leur odeur ; sert dans la fabrication du sucre de betterave pour arrêter la fermentation des pulpes.

Hyposulfite de soude : photographie.

Azotate de soude : fabrication du nitre (voir à l'*Azote*, p. 415).

Carbonate de soude (soude du commerce) : fabrication du verre.

Borate de soude (borax) : soudure, céramique. (Voir au *Bore*, p. 249.)

Les sources minérales de sodium sont le sel gemme, la cryolite, la glaubérite, l'azotate de soude, le carbonate et le borax. Nous parlerons de la cryolite au chapitre de l'*Aluminium ;* nous avons traité de l'azotate à propos de l'azote, du borax à propos du bore ; il nous reste donc seulement à étudier le sel gemme, la glaubérite et le carbonate.

SEL GEMME OU CHLORURE DE SODIUM

Usages et statistique. — Le sel ou chlorure de sodium, en dehors de son usage le plus connu pour l'alimentation humaine et, dans certains cas, pour la nourriture des bestiaux, usage sur lequel nous aurons à revenir, a un certain nombre d'applications industrielles importantes.

Nous citerons en premier lieu son emploi pour la *fabrication du carbonate de soude*, aussi bien avec l'ancien procédé Leblanc qu'avec le procédé Solvay.

Le procédé Leblanc, imaginé en 1791, consiste à chauffer ensemble, dans un four à réverbère, un mélange de sulfate de soude (obtenu par l'action de l'acide sulfurique sur le sel) de craie et de charbon. La réaction est la suivante :

$$CaOCO^2 + NaOSO^3 + 2C = NaOCO^2 + CaS + CO^2.$$

Le procédé Solvay, expérimenté en France en 1855 par MM. Rolland et Schlœsing, est fondé sur l'action prolongée d'un courant d'acide carbonique passant dans une dissolution de sel marin d'abord saturée d'ammoniaque. Il se précipite du bicarbonate de soude qu'une calcination ramène à l'état de carbonate neutre, et le chlorhydrate d'ammoniaque régénère par la chaux et l'acide carbonique, le bicarbonate d'ammoniaque nécessaire à la suite de l'opération.

Une autre application importante du sel est l'*agriculture*. Répandu sur la terre arable, le sel ne semble pas agir comme engrais mais comme réactif chimique, permettant l'absorption de certaines substances contenues dans le sol. On a dit qu'il produisait avec le calcaire, d'une part de la soude, d'autre part du chlorure de calcium, absorbant l'ammoniaque de l'air et, par suite, le fournissant aux plantes.

En outre, une certaine quantité de sel sert pour les *tanneries*, pour le *vernissage des poteries*, etc...

Nous revenons à son emploi dans la *nourriture de l'homme et des animaux*.

Comme condiment, le sel est à peu près indispensable à la vie maine, et cela d'autant plus que le climat est plus froid. En andinavie et Russie du Nord, on en consomme 11 à 12 kilo- ammes par an et par habitant; en Allemagne, près de 10 kilo- ammes ; en France, 8; en Espagne, Italie et Grèce, 7 à 5 kilo- ammes; en Egypte et Algérie, 3 kilogrammes. Dans nos pays, il st guère d'aliment dans lequel il n'entre. Il a pour effet d'ac- er et de compléter la cuisson de certains mets en reculant le int d'ébullition de l'eau ; en outre, il augmente la salivation et ilite la digestion. Aussi s'explique-t-on que, de tout temps, les uvoirs publics aient songé à imposer une substance ainsi univer- llement nécessaire. En Europe, l'Etat perçoit de 100 à 300 francs r tonne de sel [1]. Si l'on calcule qu'il s'y trouve environ 200 mil- ns d'habitants consommant en moyenne 8 kilogrammes et que mpôt est de 0,20 par kilogramme, on voit que l'impôt du sel représente en gros 320 millions de francs.

Cependant le sel ayant, en même temps que son usage comme iment, les applications industrielles dont nous avons parlé plus ut, la nécessité s'est imposée aux gouvernements, pour permettre à s industries de vivre, de dispenser de la taxe le sel qu'elles consom- aient et, par suite, pour éviter les fraudes, de le faire *dénaturer*. C'est ainsi que, dans l'Est de la France, on mélange de naphta- ne le sel destiné aux tanneurs, d'absinthe et d'oxyde de fer celui ne consomment les bestiaux ; les sels impurs produits par cer- ines salines, comme Stassfurt, vont, en outre, tout naturelle- ent aux emplois agricoles.

Il résulte de ces conditions spéciales du commerce du sel et du onopole de l'Etat quelques conséquences à noter :

La première, c'est que le marché du sel est généralement limité un pays donné [2] ; il est bien rare que le sel soit, en Europe, un jet d'importation ou d'exportation comme il l'est chez certains uples primitifs, en Chine par exemple. La France, notamment,

En France, l'impôt sur le sel est de 10 francs les 100 kilogrammes, réduits en ıtique de 3 p. 100, soit 9,70 : ce qui représente environ 42 millions par an. En emagne, cet impôt a rapporté, en 1891-92, 42 860 000 francs.

[1] La Norvège, la Belgique, la Hollande et la Suisse sont pourtant forcées d'impor- · du sel.

fournit elle-même son sel et consomme à peu près ce qu'elle fournit, quoique les salines de Franche-Comté fassent quelques exportations en Suisse, celles de Nancy en Belgique et Hollande, les marais salants de l'Ouest, au Brésil et à Saint-Pierre pour la pêche. En 1888, on a exporté ainsi environ 40 000 tonnes.

Le prix de vente du sel (impôt non compris) a varié dans ces dernières années, entre 18 et 25 francs ; d'une façon générale, le prix du sel extrait des marais salants est resté à peu près constant depuis dix ans ; au contraire, celui du sel gemme raffiné a baissé d'une façon continue de 1879 à 1886 et ne s'est un peu relevé que depuis ce moment.

En 1888, la consommation de sel en France (abstraction faite du stock) a été de 556 000 tonnes (de 9 p. 100 inférieure à celle de l'année antérieure).

Nous résumons dans les tableaux suivants (p. 467 à 469) :

1° Le prix moyen du sel gemme et du sel marin en France;

2° La statistique du sel en France ;

3° La production du sel dans le monde.

Bibliographie générale du sel et des gisements non décrits.

1847. Frapolli. — Faits qui peuvent servir à l'histoire des dépôts de sel. (*B. S. G.*, 2e, t. IV, p. 832.)

1862. Will. Gossage. — Not. histor. sur la fabrication de la soude. (*Cuyper*, t. XII, p. 480.)

1865. Jules Ichon. — Sur l'emploi du sel en agriculture. (*Ann. d. M.* 6e, t. XI, p. 419.)

1866. De la fabrication du sulfate de soude par le froid naturel à Stassfurt. (*Cuyper*, t. XIX, p. 177.)

1877. Ochsenius. — Die bildung der Steinsalzlager.

Calderon. — La sal comun y la papel en el organismo del globo.

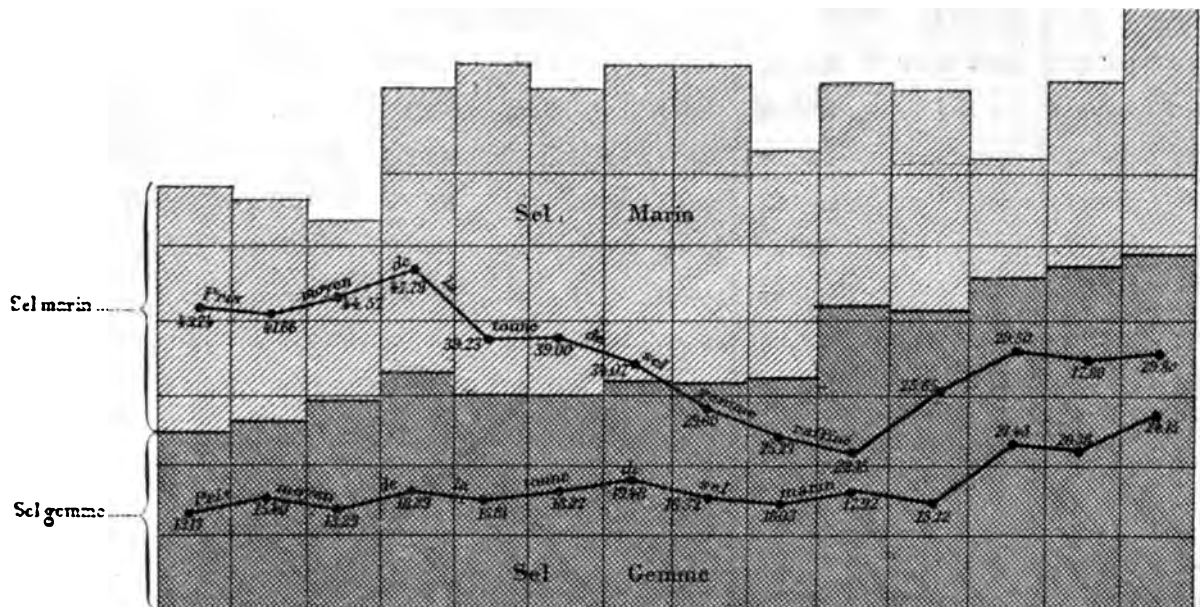
Lartet. — Sur les gisements salifères des Petites-Pyrénées de la *Haute-Garonne et de l'Ariège*. (*Mém. de l'Acad. des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse*, 8e série, t V, p. 260.)

1888. Hay. — Recent discoveries of rocksalt in *Kansas*. (*Proceedings of the American Association for the Advancement of Science*. Salem, 1888.)

1889. E.-H.-S. Bailey. — On the newly discovered Salt beds in the Ellsworth County, *Kansas*. (*Transactions of the 20th and 21th annual meetings of the Kansas Academy of Science*, t. XI, p. 8. Topeka, 1889.)

1889. H. Warth. — Recent assays from the Sambhar Salt Lake, in *Rajputana*. (*Records of the geological survey of India*, t. XXII, p. 214. Calcutta.

1890. — J.-S. Newberry. — The rock salt deposits of the Salina group in *Westhern New-York*. (*Trans. of the New-York Academy of Sciences*, t. IX, p. 29.)



Sel marin	338	313	253	367	442	408	419	428	319	301	301	167	262	352
Sel gemme	255	258	293	333	302	299	324	312	320	420	417	464	485	491
Production totale	593	571	546	700	744	707	743	740	639	721	718	631	747	843
Années	*1877*	*1878*	*1879*	*1880*	*1881*	*1882*	*1883*	*1884*	*1885*	*1886*	*1887*	*1888*	*1889*	*1890*

Fig. 69. — Production et prix moyen du sel gemme et du sel marin en France.

Echelle : { 1 millimètre pour 10 000 tonnes.
1 — — 1 franc.

STATISTIQUE DU SEL EN FRANCE

ANNÉES	SEL GEMME							SEL MARIN			Importation de sel gemme et sel marin	Exportation de sel gemme et de sel marin
	Production de la France en tonnes	Valeur de la tonne impôt non compris	Production du département de Meurthe-et-Moselle en sel gemme		Prix du sel livré au commerce		Nombre d'ouvriers employés	Production de la France en tonnes	Prix moyen de la tonne sans impôt	Ouvriers		
			Brut	Raffiné	Brut	Raffiné						
1880	332.500	35,53	88.000	158.000	10	50,00	1.600	367.400	18,29	8.800	25 500	122.000
1881	302.400	35,15	87.500	142.000	10	45,38	1.600	442.000	15,81	11.000	24.400	124.300
1882	298.500	34,17	87.500	137.000	10	44,20	1.600	408.000	18,22	9.700	16.500	132.300
1883	324.000	31,09	96.000	143.000	10	40,01	1.600	419.000	19,48	11.800	13.500	151.500
1884	312 000	28,08	100.000	135.000	10	36,68	1.460	428.000	16,32	11.000	19.800	124.000
1885	320.000	25,29	94.000	153.000	9	25,00	1.450	319.000	16,03	9.000	15.000	145.500
1886	420.000	22,25	102.000	135.000	9	»	1.540	301.000	17,92	8.000	20.000	156.500
1887	417.000	25,65	91.000	136.000	6	»	1.520	301.000	15,12	8 000	27.000	132.700

ANNÉES	FRANCE		ALGÉRIE		ILES BRITANNIQUES		PRUSSE		BAVIÈRE		AUTRES PAYS ALLEMANDS		AUTRICHE	
	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs
														(1)
1879	536 000	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»		»	»
1880	693.000	»	»	»	2.681.675	»	374.000	21,23	43.800	52,65	»	»	254.633	212,45
1881	751.000	23,80	16.059	23,90	2.232.693	12,42	455.000	19,55	45 500	51,50	220.700	21,90	267.279	»
1882	703.000	24,97	31.177	21,37	2.217.777	12,42	461.809	19,90	45.148	51,17	221 000	22,25	269.376	209,90
1883	737.000	24,54	18.000	19,98	2.363.003	7,15	466.000	19,98	46.000	54,00	230 000	22,00	274.000	204,50
1884	806.000	21,28	13.000	28,08	2.370.000	7,12	456.000	19,25	44.000	54,00	264.000	22,00	265.000	207,00
1885	701.000	18,27	12.500	21,36	2.243.000	8,77	461.000	18,64	43.000	54,00	310.000	20,55	270.000	107,85
1886	721.000	17,81	26 400	20,80	2.176.000	8,60	485.000	18,06	43.000	54,00	335.000	18,00	273.000	197,85
1887	718.000	14,37	33.700	20,13	2.229.000	8,29	462.000	18,00	43.000	54,35	419.000	18,00	283.000	194,45
1888	631.000	18,10	25.800	21,30	2.342.000	7,55	457.000	17,60	43.000	47,53	411 000	12,75	280.000	191,45
1889	747 000	18,59	30.100	21,08	1.978.000	11,35	520.000	17,74	43.000	46,12	475.000	13,31	283.000	188.31
1890	843.000	20,67	24.000	20,94	2.181.000	12,50	522.000	19,08	43.000	46,12	475.000	13,31	303.000	187,57

ANNÉES	ITALIE		RUSSIE		ESPAGNE		ÉTATS-UNIS		CANADA		INDES ET POSSESSIONS ANGLAISES		TOTAL APPROXIMATIF du monde entier
	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes
1880	391.770	»	817.745	»	109 921	»	»	»	»	»	»	»	5.657.800
1881	»	»	817.745	»	150.389	»	»	»	»	»	»	»	5.534.970
1882	431.000	»	1.668.000	»	113.009	12,05	814.000	27,05	»	»	»	»	5.450.911
1883	»	»	1.139.000	»	118.009	11,71	827.000	23,03	»	»	939.000	8,80	8.072.000
1884	370.000	11,00	1.025.000	»	112.000	12,15	894.000	27,09	18.000	31,22	1.208.000	8,23	8.182.000
1885	438.000	»	1.134.000	»	117.000	12,67	979.000	25,00	»	»	»	»	7.608.000
1886	»	»	»	»	»	»	»	»	57.000	20,08	»	»	8.223.000
1887	sel marin. 354.000 sel gemme. 29.000	11,00 20,93	1.198.000	»	125.000	13,41	995.000	21,19	68.000	12,68	1.166.000	8,18	8.508.000
1888	sel marin. 392.000 sel gemme. 29.000	11,00 20,00	»	»	414.000	17,40	1.023.000	22,00	55.000	15,73	1.050.000	14,58	8.347.000
1889	sel marin. 393.000 sel gemme. 30.000	11,00 22,40	1.156.000	»	414 000	17,40	»	»	54.000	17,32	1.047.000	14,59	8.475.000
1890	sel marin. 421.000 sel gemme. 28 000	6,30 19,90	1.392.000	»	»	»	1.105.000	22,07	30.000	21,75	»	»	9.125.000

(1) Prix de la tonne sur place, impôt compris.

STATISTIQUE DU SEL EN FRANCE

ANNÉES	SEL GEMME							SEL MARIN			Importation de sel gemme et sel marin	Exportation de sel gemme et de sel marin
	Production de la France en tonnes	Valeur de la tonne impôt non compris	Production du département de Meurthe-et-Moselle en sel gemme		Prix du sel livré au commerce		Nombre d'ouvriers employés	Production de la France en tonnes	Prix moyen de la tonne sans impôt	Ouvriers		
			Brut	Raffiné	Brut	Raffiné						
1880	332.500	35,53	88.000	158.000	10	50,00	1.600	367.400	18,29	8.800	25 500	122.000
1881	302.400	35,15	87.500	142.000	10	45,38	1.600	442.000	15,81	11.000	24.400	124.300
1882	298.500	34,17	87.500	137.000	10	44,20	1.600	408.000	18,22	9.700	16.500	152.300
1883	324.000	31,09	96.000	143.000	10	40,01	1.600	419.000	19,48	11.800	13.500	151.500
1884	312 000	28,08	100.000	135.000	10	36,68	1.460	428.000	16,32	11.000	19.800	124.000
1885	320.000	25,29	94.000	153.000	9	25,00	1.450	319.000	16,03	9.000	15.000	145.500
1886	420.000	22,25	102.000	135.000	9	»	1.540	301.000	17,92	8.000	20.000	156.500
1887	417.000	25,65	91.000	136.000	6	»	1.520	301.000	15,12	8.000	27.000	132.700

ANNÉES	FRANCE		ALGÉRIE		ILES BRITANNIQUES		PRUSSE		BAVIÈRE		AUTRES PAYS ALLEMANDS		AUTRICHE	
	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs
1879	536 000	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»		»	(1) »
1880	693.000	»	»	»	2.681.675	»	374.000	21,23	43.800	52,65	»	»	254.633	212,45
1881	751.000	23,80	16.059	23,90	2.232.693	12,42	455.000	19,55	45 500	51,50	220.700	21,90	267.279	»
1882	703.000	24,97	31.177	21,37	2.217.777	12,42	461.809	19,90	45.148	54,17	221 000	22,25	269.376	209,90
1883	737.000	24,54	18.000	19,98	2.363.000	7,15	466.000	19,98	46.000	54,00	230 000	22,00	274.000	204,50
1884	806.000	21,28	13.000	28,08	2.370.000	7,12	456.000	19,25	44.000	54,00	264.000	22,00	265.000	207,00
1885	701.000	18,27	12.500	21,36	2.243.000	8,77	461.000	18,64	43.000	54,00	310.000	20,55	270.000	107,85
1886	721.000	17,81	26 400	20,80	2.176.000	8,60	485.000	18,06	43.000	54,00	335.000	18,00	273.000	197,85
1887	718.000	14,37	33.700	20,13	2.229.000	8,29	462.000	18,00	43.000	54,35	419.000	18,00	283.000	194,45
1888	631.000	18,10	25.800	21,30	2.342.000	7,55	457.000	17,60	43.000	47,53	411 000	12,75	280.000	191,45
1889	717 000	18,59	30.400	21,08	1.978.000	11,35	520.000	17,74	43.000	46,12	475.000	13,31	283.000	188.31
1890	843.000	20,67	24.000	20,94	2.181.000	12,50	522.000	19,08	43.000	46,12	475.000	13,31	303.000	187,57

ANNÉES	ITALIE		RUSSIE		ESPAGNE		ÉTATS-UNIS		CANADA		INDES ET POSSESSIONS ANGLAISES		TOTAL APPROXIMATIF du monde entier
	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs	Tonnes
1880	304.770	»	817.745	»	109 921	»	»	»	»	»	»	»	5.657.800
1881	»	»	817.745	»	150.389	»	»	»	»	»	»	»	5.531.970
1882	431.000	»	1.668.000	»	113.000	12,05	814.000	27,05	»	»	»	»	5.450.911
1883	»	»	1.139.000	»	118.009	11,71	827.000	23,03	»	»	939.000	8,80	8.072.000
1884	370.000	11,00	1.025.000	»	112.000	12,15	894.000	27,09	18.000	31,22	1.208.000	8,23	8.182.000
1885	438.000	»	1.134.000	»	117.000	12,67	979.000	25,00	»	»	»	»	7.608.000
1886	»	»	»	»	»	»	»	»	57.000	20,08	»	»	8.223.000
1887	sel marin. 354.000 sel gemme. 29.000	11,00 20,93	1.198.000	»	125.000	13,41	995.000	21,19	68.000	12,68	1.166.000	8,18	8.508.000
1888	sel marin. 392.000 sel gemme. 29.000	11,00 20,00	»	»	414.000	17,40	1.023.000	22,00	55.000	15,73	1.050.000	14,58	8.347.000
1889	sel marin. 393.000 sel gemme. 30.000	11,00 22,40	1.156.000	»	414 000	17,40	»	»	54.000	17,32	1.047.000	14,59	8.475.000
1890	sel marin. 421.000 sel gemme. 28 000	6,30 19,90	1.392.000	»	»	»	1.105.000	22,07	30.000	21,75	»	»	9.125.000

(1) Prix de la tonne sur place, impôt compris.

Sources du sel. — Les sources du sel sont nombreuses. Il en est une pratiquement inépuisable, la mer. En outre, divers étages géologiques renferment des amas de sel importants. Disons d'abord quelques mots de la première source, c'est-à-dire de l'industrie des marais salants, pour ne plus avoir à y revenir.

INDUSTRIE DES MARAIS SALANTS

Conditions générales. — Au premier abord, il semblerait que toutes les côtes des pays chauds soient susceptibles de donner des marais salants. En réalité, il n'en est rien ; on a tenté sans grand succès d'en établir en Grèce et en Algérie, on a échoué en Crimée. Il ne suffit pas, en effet, que la chaleur solaire soit suffisante pour produire l'évaporation. Il est surtout indispensable qu'il y ait du vent et du vent sec. Les salines de l'Ouest de la France, quoique dans un pays relativement pluvieux, réussissent mieux à cause de la force du vent que celles du Nord de l'Afrique. Un des meilleurs types d'une région de marais salants, c'est la Provence, à cause de sa position, au débouché sur la mer du couloir constitué par la vallée du Rhône et de la persistance, à certains moments, du vent de mistral. Il va de soi d'ailleurs que la sécheresse du vent est un élément essentiel. La Hollande et la Belgique qui ne possèdent pas de mines de sel se trouvent ainsi, en outre, dans l'impossibilité de créer des marais salants.

Voici quelques chiffres donnant une idée de la production de sel par hectare de marais salants et par année :

Portugal (Setubal, Rio Sado) : 250 tonnes.
Italie (Cagliari) : 120 tonnes.
Camargue : 80 à 100 tonnes.
Ouest de la France : 25 à 30 tonnes.

Le commerce du sel se trouvant dans une situation spéciale que nous avons indiquée plus haut, les conditions atmosphériques de la saison d'été ont, chaque année, en favorisant ou arrêtant la production des marais salants concurrents, une importance extrême pour les mines de sel elles-mêmes.

L'industrie des marais salants a, en outre, sur celle du sel gemme

raffiné, un contre-coup d'un autre genre, par les exigences souvent bizarres qu'elle a introduites dans la pratique du commerce.

C'est ainsi que, suivant les régions, le consommateur voudra du sel en gros cristaux (retenant en réalité plus d'eau) ou du sel fin, du sel gris ou du sel blanc.

Dans l'Ouest, en effet, où les pluies sont fréquentes, on est obligé de racler tous les un ou deux jours la croûte de sel très mince qui entraîne un peu d'argile de la sole et se salit : les personnes habituées à ce sel réclament alors du sel gris ; sur la Méditerranée, au contraire, on ne retire guère le sel qu'une fois par an ; il forme alors une couche de 7 à 8 centimètres et est du plus beau blanc. Il est d'ailleurs facile aux raffineries de répondre en même temps, par des procédés très simples, à ces divers désirs.

En *France*, on estime qu'il y a environ 18 000 hectares de marais salants, groupés autour de deux centres principaux : les estuaires de la Loire et la Camargue.

Leur production a été :

	1883	1884	1885
Salines de l'Ouest	130 000 t.	183 000 t.	136 000 t.
— de la Méditerranée . . .	289 000	240 000	183 000
— d'Algérie	18 000	13 000	22 500

Le prix de revient moyen du sel des marais a été, en 1885, de 16 francs.

En *Italie*, tout le sel consommé provient des salines de Cagliari (Sardaigne) ayant donné, en 1890, 170 000 tonnes ; de celles de Trapani (Sicile) donnant 200 000 tonnes et, pour une faible part, de salines établies à Civita-Vecchia, et, sur l'Adriatique, près de Venise. Ces salines font, en outre, une exportation assez forte dans les pays du Nord. A Cagliari, le sel est obtenu dans des bassins occupant 800 hectares de superficie, dont 150 pour les bassins de cristallisation. La production est de 120 kilogrammes de sel au mètre carré, tandis que, dans le midi de la France, elle n'est guère que de 80[1].

En *Istrie et Dalmatie*, des salines occupent 4 400 personnes et produisent 220 000 tonnes.

[1] Notes de voyage de 1891.

SEL DES ÉTAGES GÉOLOGIQUES

Nous arrivons maintenant à une deuxième source de sel qui doit nous occuper plus particulièrement ici, *le sel des étages géologiques.*

Mode d'exploitation. — **Si nous examinions ces gisements au point de vue de leur exploitation, nous aurions à distinguer trois types bien distincts et également intéressants :**

1° Le sel est exploité comme un minerai quelconque en l'abattant au pic par gros blocs, avec cette différence seulement que la résistance et l'homogénéité du sol permettent d'opérer ici par excavations souvent gigantesques; types Maros-Ujvar, Marmaros en Hongrie : Wieliczka en Galicie, et environs de Nancy.

2° On exploite le sel par dissolution, mais en commençant par lui préparer des chambres souterraines avec traçage, etc...; type : Salzkammergut.

3° On dissout le sel au moyen d'un simple sondage qui va plonger dans la couche salifère en y apportant l'eau des niveaux de sources traversés et on pompe cette eau salée ; type : environs de Besançon; Lorraine; Cheshire; Se-tchoan, etc...

Conditions géologiques. — Au point de vue géologique, qui est avant tout le nôtre, nous classerons les gisements de sel d'après leur âge.

L'origine des couches de sel étant, ainsi que nous l'avons exposé à propos du potassium[1], le produit de l'évaporation de bassins marais fermés, alimentés plus ou moins longtemps par un afflux d'eau de mer, il est facile de prévoir que le sel doit se rencontrer dans un grand nombre de terrains géologiques. Il faut cependant, pour que le sel soit arrivé à se déposer, que l'évaporation ait traversé d'abord la première phase pendant laquelle il se forme du gypse : dès lors, on peut trouver du gypse sans sel ; on ne doit pas rencontrer de sel qui ne soit superposé à une couche de gypse;

[1] Page 118.

d'où l'abondance moins grande du sel que du gypse. Il faut, en outre, pour que les couches de sel aient atteint quelque étendue, qu'il y ait eu un recul assez prononcé de la mer ayant laissé en arrière des étangs barrés par des dunes, et ces grands mouvements de recul ne se sont produits, pour chaque région, qu'un nombre restreint de fois, à des époques déterminées : ils ont eu lieu seulement après qu'un plissement de l'écorce terrestre avait amené, dans l'équilibre des eaux, une perturbation; les avait attirées sur un point en les retirant d'un autre. C'est pourquoi les formations salines importantes sont, dans l'échelle géologique d'une contrée, classées à des époques bien déterminées, époques qui coïncident à peu près avec celles des dislocations ayant amené les émanations métallifères : en Chine, le cambrien ; dans l'Amérique du Nord et l'Inde, le silurien ; en Russie, en Tyrol, Wurtemberg, Lorraine, etc., c'est-à-dire le long de la chaîne hercynienne, le permo-trias ; sur le pourtour des Carpathes, le miocène ; vers la Caspienne, dans le Nord de l'Afrique, etc., l'époque actuelle.

Cette coïncidence, depuis longtemps remarquée, a même amené beaucoup de géologues à attribuer au sel comme aux métaux une origine interne [1], à supposer qu'il avait été apporté par des sources chaudes chlorurées, comme on en rencontre aujourd'hui encore de si nombreuses (Bourbonne, Bourbon-l'Archambault, etc...); nous croyons que, tout au contraire, les sources salées actuelles tirent leur sel des couches géologiques qu'elles traversent ; néanmoins, il n'est pas impossible que les sources thermales, assurément très abondantes à l'époque des formations salifères du Tyrol, de Stassfurt, de la Lorraine, des Carpathes, etc... aient contribué, par leur chaleur, à la plus facile évaporation des lagunes d'eau de mer.

Sans insister davantage, décrivons les gîtes de sel par ordre d'âge :

SALINES DU SE-TCHOAN CHINOIS (Cambrien)

Les salines du Se-tchoan chinois nous sont aujourd'hui bien

[1] C'était l'opinion de M. Fuchs.

connues, grâce à un intéressant mémoire de M. Coldre paru, en 1891, dans les *Annales des mines*[1]. Elles présentent un grand intérêt par leur importance industrielle considérable, et par le niveau géologique d'où proviennent les sources salées associées à des pétroles, niveau qui paraît être le cambrien.

Le Se-tchoan est une des plus vastes provinces de la Chine entre le Thibet à l'Ouest, le Yunnan au Sud, le Foulan à l'Est, le Chansi au Nord. Les puits salés forment deux groupes au Nord d'une chaîne de montagnes carbonifères qui, à l'Ouest, va se relier aux monts encaissant le fleuve bleu :

1° à l'Ouest le groupe de Lochan et Kien-ouy, où le sel n'est pas accompagné de pétrole ;

2° à l'Est, celui des Pays de feu (Fou-Choen), dont nous nous occuperons spécialement.

Partout l'eau salée est obtenue au moyen de sondages, donnant rarement une eau jaillissante et, après avoir été pompée, évaporée dans des usines. On a évalué la production annuelle à plus de 800 000 tonnes représentant, comme valeur au point d'extraction, 140 millions de francs ; au point de consommation, près de 400 millions.

Au point de vue géologique, les sondages du Fou-Choen partent d'un grès jaune tertiaire dont la puissance varie entre 38 et 100 mètres ; puis, jusqu'à 200 mètres, recoupent des terrains jurassiques. A ce niveau, apparaissent des sources bitumineuses. Au-dessous, viennent 70 mètres de grès liasiques et, à 270 mètres, des jets de gaz assez abondants. Jusqu'à 600 mètres, on est ensuite dans les marnes irisées et dans le calcaire permien contenant des sources d'eau salée jaunâtre d'une saturation moyenne (12 à 15 p. 100). Après quoi, on recoupe encore des terrains que l'on considère comme du grès houiller, du silurien et des schistes cambriens, et l'on arrive enfin, entre 930 et 1 100 mètres de profondeur, au niveau des sources salées noires les plus saturées (15 à 28 p. 100) et les plus abondantes et des principaux jets de gaz. Des intrusions de roches éruptives (porphyre, basalte ?) sont parfois rencontrées par les sondages.

[1] *Ann. d. M.*, (8e série, t. XIX, p. 441).

Les sondages, exécutés à la corde, ont toujours au moins 200 mètres; en moyenne, de 3 à 600 ; le plus profond a atteint 1 100 mètres. Le puisage, quand la source n'est pas artésienne, se fait au moyen d'un gros et grand bambou cerclé de cordelettes de chanvre et muni d'une soupape.

Le pétrole est associé en assez grande abondance avec l'eau salée ; une trentaine de puits en exploitent. Souvent aussi, on obtient des gaz combustibles analogues à ceux de Pensylvanie ; ceux-ci apparaissent d'abord en petite quantité vers 270 mètres, mais donnent souvent des jets très forts à 670 mètres et, lorsqu'on a réussi, non sans peine, à les capter, on les utilise pour l'évaporation du sel[1].

SEL DÉVONIEN DE RUSSIE

Dans le Nord-Ouest de la Russie, les gouvernements de Novgorod, de Pskow et d'Akhangelsk renferment des saumures dévoniennes.

On peut citer celles de Staraïa-Roussa et de Novaïa-Roussa au Sud du lac Ilmen, inexploitées aujourd'hui : celles de Senoska au bord de la mer Blanche, de Vladitchensk, Ousk et Loudsk dans le gouvernement d'Arkhangel. Le même terrain dévonien renferme du gypse et des sources de naphte.

SEL SILURIEN DE L'INDE (SALTRANGES[2])

Les Saltranges sont situés dans le Pendjab indien près de la frontière de l'Afghanistan, au Sud du Kashmir, sur la rive Est de l'Indus. De l'autre côté du fleuve sont les importants gisements de sel tertiaire de Bahadur, dont nous parlerons plus loin.

[1] On a même prétendu que les Chinois s'en servaient pour l'éclairage des rues. D'après M. Coldre, le fait est inexact.

[2] Sur le sel de l'Inde, voir *Memoirs of the geolog survey of India*, t. XI. (The Transindus saltregion par A.-B. Wyonn, avec un appendice sur les mines de Kohat, par Warth) et Davies, p. 92.

Les Saltranges sont composés de lentilles de sel interstratifiées dans des couches qu'on a décrites comme siluriennes. Elles donnent un sel rouge assez impur.

SEL DE L'AMÉRIQUE[1]

Dans l'Amérique du Nord, le silurien comprend également dans son étage supérieur (ou bohémien) un groupe de couches salifères, dit groupe d'Onondaga ou sous-étage de Salina intercalé entre l'étage du Niagara et l'étage de Hedelberg. Les couches présentent l'association habituelle du gypse et du sel. Le gypse a été décrit par M. Dana, comme résultant de la transformation sur place d'un calcaire ; quant au sel, il n'est connu que par des sources salées. M. de Lapparent a émis l'opinion que gypse et sel seraient dus à des sources et à des émanations postérieures au dépôt des terrains où on les rencontre. Si cette opinion se trouvait démontrée, on pourrait en conclure que les gisements originels de sel et de gypse qui produisent ces gîtes secondaires se trouvent en profondeur au-dessous.

Pendant que nous nous occupons de l'Amérique, disons de suite que ce pays renferme d'assez nombreux gisements de sel dans les montagnes à l'Ouest du Mississipi[2], dans le Kentucky, le Michigan, dans la région des Lacs-Salés, etc. Presque tout le sel consommé aux États-Unis vient de sources salées, en particulier de celles dont nous venons de parler, situées dans les districts de Syracuse et de Salina et dans l'Ohio.

Récemment, on a découvert des rochers de sel dans le *Névada* ayant de 10 à 100 mètres d'épaisseur. La même région contient un remarquable lac salé qu'on exploite industriellement au commencement de la saison d'été : on pompe l'eau et on la fait évaporer à l'air dans des bassins. C'est de ce point que proviennent les plus beaux échantillons de gaylussite (carbonate de

[1] Voir, 1877, Poszepny. (*K. K. Ak des Wissaen*, t. XXVI); Dana (Manual, p. 211, et Lapparent, p. 703-1877; Sterry Hunt. The goderich Salt region (*Geol. survey of Canada*, p. 221-1863); Thomassy. Sur la mine de sel de l'Ile Petite Anse (Louisiane). (*B. S. G.* 2e, t. XX, p. 542.)

[2] Davies, p. 96.

soude et chaux) dont on ne connaît qu'un autre gisement, le lac Macaraïbo dans l'Amérique du Sud.

Dans l'*Amérique du Sud*, Darwin, lors d'un de ses premiers voyages de jeune homme, a décrit des lacs de sel situés en Patagonie dans la grande formation argilo-calcaire qui couvre le pays.

SEL PERMIEN DE RUSSIE[1]

L'époque permo-triasique a, en Europe, particulièrement le long de la chaîne hercynienne, une importance notable en ce qui concerne les gisements salins ; on peut y mentionner, à divers niveaux, les gîtes suivants :

Trias . .	Keuper moyen (gypse Keuper, — Lorraine — Cheshire).
	Keuper inférieur (Letten-kohle) — Tyrol — Salzkammergut — Franche-Comté.
	Muschelkalk — Wurtemberg.
	Grès bigarré.
Permien.	Zechstein supérieur — Stassfurt — Allemagne du Nord [2].
	Zechstein — Russie (gouvernement de Perm).

Nous les décrirons, suivant notre habitude, du plus ancien au plus récent, en commençant donc par la Russie où nous avons déjà cité plus haut[3] du sel devonien.

La Russie contient dans l'Est, notamment dans le gouvernement de Perm, à la frontière de l'Asie et de l'Europe et à peu près à la latitude de Saint-Pétersbourg, d'importants gisements de sel situés dans le Zechstein.

Dans le gouvernement de Vologda, des salines situées près de la ville de *Thotma*, au confluent de la Kavda et de la Soukhona, ont produit 836 tonnes de sel en 1875.

A 35 kilomètres plus au Sud, la saline de *Ledengsk* a produit, dans la même année, 3 100 tonnes; le long de la rivière Vym, la

[1] Davies, p. 89. — Aperçu des richesses de la Russie en 1878, p. 35.

[2] 1866. Habets. Sur le développement industriel du bassin salifère de Magdebourg Halberstadt (*Cuyper*, t. XIX, p. 120). Voir la description de ces gisements au chapitre du *Potassium*, p. 429.

[3] Page 475.

saline de *Sereguvsk* a produit, par un sondage de 200 mètres, 2 500 tonnes de sel.

Dans le gouvernement de Perm, les principaux sièges d'exploitation se trouvent le long de la Kama (district de *Solikamsk*).

On peut citer les salines de *Deduckhine* ayant fourni en 1875 : 47 500 tonnes de sel (sondage de 205 mètres) ;

celles de *Lenvensk* et *Novousolié* : 66 750 tonnes ;

celles d'*Ousolié* (sondages de 150 à 200 mètres traversant 42 mètres de sel en 11 couches) : 67 500 tonnes ;

celles de *Solikamsk* même (sondages de 80 mètres) : 18 600 tonnes ;

enfin, celles de *Beresnine* : 11 000 tonnes.

En résumé, il y a, dans cette région, au moins 60 mines de sel dont l'origine remonte souvent au XVe siècle et qui produisent, par an, plus de 200 000 tonnes de sel. La production totale de sel en Russie atteint d'ailleurs 1 200 000 tonnes par an ; mais elle est fournie pour la plus grande partie par les lagunes salées de la dépression aralocaspienne [1].

SALINES DU TYROL ET DU SALZKAMMERGUT [2]

Les dépôts du Salzkammergut sont situés aux confins de la Styrie, du pays de Salzbourg et de la Bavière ; les principales mines sont celles de *Hallein*, *Ischl*, *Halle*, *Hallstadt*, *Berchtesgaden*, etc.

Tous ces gisements se trouvent dans le keuper inférieur, équivalent des couches de Saint-Cassian.

Si l'on examine, sur une carte d'ensemble, la géologie de cette région, on observe la disposition suivante :

Du Nord au Sud, s'allongent une série de zones parallèles de terrains éocène, crétacé, jurassique, triasique, avec quelques affleure-

[1] Voir plus loin, page 518.

[2] Coll. École des Mines, 1800. L'Autriche-Hongrie produit environ :

554 000	quintaux (centners)	de	sel en bloc.
1 500 000	—	—	de sel raffiné.
220 000	—	—	de sel marin.
14 000	—	—	de sel pour usages industriels.

Les marais salants sont situés en Istrie et en Dalmatie. Ils occupent 4 400 personnes (dont 1 700 femmes et 1 450 enfants) et produisent 220 000 tonnes.

ments de permien et de silurien adossés à la grande chaîne granitique des Tauern et des Alpes tyroliennes sur laquelle on en rencontre des lambeaux. De l'autre côté de cette chaîne, en redescendant le Brenner, on retrouve le trias de Saint-Cassian.

La bande triasique du Nord, qui forme sur la carte une série de zones allongées (Est-Ouest) apparaissant au milieu du jurassique, est celle où se trouvent les gisements de sel.

On sait que le trias alpin a un faciès très particulier et différent des types que nous connaissons en France, particulièrement en Lorraine. Ici nous avons de véritables formations marines et, aux marnes bariolées du keuper lorrain, se substituent des assises puissantes de dolomie et de calcaire : le sel est en relation naturelle avec ces couches marines.

Nous rappellerons la coupe classique du trias alpin :

	FRANCONIE	RÉGION ALPINE
Marnes irisées (Keupérien)	Gyps Keuper. Lettenkohle de Franconie	Couches de Raibl. Calcaire de Hallstadt. Dolomie du Schlern. Niveau salifère du Salzkammergut. Couches de Saint-Cassian.
Muschelkalk (Franconien) »	Calc. de Friedrichshall. Groupe de l'anhydrite et du sel. Wellenkalk.	Couches de Wengen à Daonella Calcaire de Virgloria et dolomie de Mendola
Grès bigarré (Vosgien)	Röth Grès bigarré	Couches de Werfen Grès de Gröden

Le keuper inférieur, dans lequel se trouvent les gisements que nous étudions en ce moment, commence, dans la bande au Sud des Alpes, par les *couches de Saint-Cassian* composées de tufs de porphyre augitique avec marnes contenant, à la Seisser-Alp, une curieuse association d'ammonites et de productus. Au-dessus, viennent les fameuses dolomies du Schlern. Sur le flanc Nord des

Alpes, le niveau de Saint-Cassian est représenté par les marbres de Hallstadt rouges, roses, blancs, bariolés, etc., de 300 mètres de puissance, qui comprennent, à leur base, les gisements salifères.

Tous ces gisements de sel ont des formes extrêmement variables qu'on peut attribuer aux actions mécaniques qu'ils ont subies, et dans lesquelles le sel, qui a une résistance énorme à la cassure, s'est, en quelque sorte, laminé. A Hallein et à Aussee, le sel forme une vaste lentille qui, à Aussee, repose presque directement sur le grès bigarré. A Hallstadt, l'amas est à peu près vertical, etc.

Le sel est toujours impur, mélangé à des argiles salifères, souvent coloré en rouge ou en noir. On y trouve des veines de gypse, d'anhydrite, fréquemment de polyhalite, de glaubérite, etc.

La partie exploitée du gîte contient :

à Ischl	50 à 55	p. 100 de sel
Hallstadt	70 à 75	— —
Aussee	80 à 90	— —

Historique. — Les mines de sel du Salzkammergut ont été très anciennement connues. On trouve des mentions de leur exploitation dès le VIIIe siècle. L'histoire raconte qu'en 1275, la mine de Hall fut découverte par le chevalier Niklaus von Rohrbach, qui avait remarqué la salure de certains ruisseaux et les avait remontés vers leur source.

L'**exploitation** se fait par dissolution ; mais on ne se borne pas, comme en Lorraine et dans les environs de Besançon, à épuiser l'eau salée par des trous de sondage ; on procède ici au moyen de chambres souterraines où l'on prépare un certain nombre de galeries de traçage qui donnent du sel en blocs et où l'on fait ensuite séjourner l'eau.

La mine de Hall, par exemple, est divisée en plusieurs étages distants de 30 mètres les uns des autres et caractérisés chacun par une galerie d'écoulement.

1° Le *travail de préparation* d'une chambre consiste dans le percement d'une galerie principale, à partir de laquelle, de 3 mètres en 3 mètres et perpendiculairement, on fait une série de recoupes ayant juste assez de largeur pour qu'un homme puisse y pénétrer. Ces chambres sont d'inégales dimensions ; cer-

taines ont jusqu'à 400 mètres de superficie et 130 000 hectolitres de capacité.

Dans cette préparation, une précaution à prendre, c'est de percer à la voûte un puits central communiquant avec l'étage au-dessus et permettant à l'air de s'échapper tout à l'heure quand on laissera l'eau arriver.

La chambre préparée, on la met en communication par un bout avec l'étage supérieur et on ferme l'autre extrémité en faisant une série de murs en argile damée, séparés par des cloisons de planches, sur une épaisseur totale de 3 mètres.

Puis on laisse arriver l'eau qu'on a commencé par capter dans la montagne, et qui, d'étage en étage, c'est-à-dire de chambre en chambre, descend en se salant progressivement jusqu'au niveau inférieur.

Cette arrivée de l'eau est très soigneusement réglée au moyen de compteurs. On met, en moyenne, vingt jours pour remplir une chambre. Enfin on laisse l'eau s'écouler à l'autre extrémité, en notant de même son volume par un robinet à jauge, et sa densité à l'aréomètre.

Quand la chambre est vide, on y rentre, et, tous les piliers s'étant dissous, on ne trouve plus que des amas irréguliers d'argile grise souvent tapissés de cristaux de gypse. On abat alors le plafond qui est rongé sur 60 centimètres environ, on bouche et on fait revenir l'eau.

L'extraction du Salzkammergut est de 60,000 tonnes.

Le prix de revient du sel dans le Salzkammergut s'établit approximativement comme suit, par tonne de sel :

$3^{m3},6$ de dissolution à 1 fr. 58 =	5,70
Evaporation	26,65
Transports divers.	1,78
Total. . . .	34,13

le prix de vente étant de 128 francs, impôt compris.

Bibliographie du sel dans le Tyrol.

1862. KELLER. — Sur l'exploitation de l'argile salifère et le traitement du sel dans le Salzkammergut. (*Ann. d. M.*, 6e, t. II, p. 1.)

1864. Léo Gérard. — Expl. du sel dans les Alpes de Salzbourg. (*Cuyper*, t. XV, p. 473.)

1864. Althans. — Salines de Hallein et Hallstadt. (*Cuyper*, t. XVI, p. 404.)

1866. Hauer et V. Horinck. — Salinen Betrieb zu Hallein und Hall (au point de vue chimique). (*B. u. H. Z.*, 1866, p. 269.)

1879. Mojsisovics. — Die dolomit riffe von Sud Tyrol. (*Jahrb. der KK. geol. R.*, t. XIX, p. 91.)

1881-82. Labat. — Observations sur les mines de sel gemme et sur les eaux salées du pays de *Salzburg*. (*B. S. G.*, 3e série, t. X, p. 265. Paris, 1881-82.)

1883. L.-De Launay. — Notes de voyage inédites.

1883. de Lapparent, p. 807.

1888. Davies, p. 85.

SALINES DU DOUBS[1]

Dans le département du Doubs, en particulier aux environs de Besançon, l'industrie du sel tend à se développer depuis quelques années. Les principales salines actuellement existantes sont celles de Miserey, Châtillon, etc... ;

Mais, en outre, on a fait, en 1889, des sondages heureux à Pouilley-les-Vignes.

Le niveau salifère semble un peu inférieur à celui que nous rencontrerons en Lorraine, et comparable à celui du Tyrol.

Au-dessous du calcaire à gryphées, l'infralias est représenté par des marnes schisteuses noires, grises ou jaunes sur 23 mètres. Puis le keuper comprend 18 mètres de marnes irisées, 8 mètres de calcaire dolomitique, 23 mètres de marnes rouges avec gypse blanc, 10 mètres de dolomie grise compacte, 15 mètres d'alternances de marnes gréseuses avec lits de houille (niveau de Gouhenans), 40 mètres de marnes irisées gypseuses, et l'on arrive au sel à une profondeur variable qui a été de 200 mètres environ à Pouilley-les-Vignes, 177 mètres à Miserey, etc...

Dans cette région, les terrains ont subi un plissement important de direction Nord-Est — Sud-Ouest, prolongement de celui du Jura, qui a fait apparaître les marnes irisées ou, tout au moins, le calcaire à gryphées au-dessus, suivant un certain nombre de

[1] Notes de voyage inédites (1889).

bandes allongées parallèles, plus ou moins disloquées par des failles.

Les sondages se sont placés, tantôt sur des anticlinaux, tantôt sur des synclinaux de ce terrain plissé. D'une façon générale, on peut dire que les sondages situés sur des synclinaux (comme celui de Miserey) ont donné des résultats plus favorables que les autres ; en effet, aux anticlinaux, il est souvent arrivé que le sel ait été complètement emporté antérieurement par les eaux souterraines et, dans tous les cas, comme on dissout sur place, on a à craindre des éboulements plus fréquents obstruant les sondages ; au contraire, au fond des synclinaux, les eaux se rassemblent, apportant le sel qu'elles ont parfois recueilli à de grandes distances, et l'on se trouve dans des conditions aussi rapprochées que possible de celles d'une nappe d'eau salée naturelle, toujours plus constante et plus limpide.

L'exploitation se fait uniquement par dissolution au moyen de tubes de sondage ; après quoi, on raffine le sel par évaporation ; nous dirons quelques mots de ce système à propos du sel de Lorraine.

La production annuelle de Miserey et de Châtillon est d'environ 9 000 tonnes pour chaque mine.

Dans le Jura, il existe également quelques grandes salines :

Montmorot	15 000	tonnes.
Salins.	6 000	—
Arc.	6 000	—
Grozon.	3 000	—
	30 000	tonnes.

SALINES DE LA LORRAINE

En Lorraine, le keuper supérieur est formé essentiellement de marnes et d'argiles bariolées de couleurs vives, quelquefois imprégnées de gypse, avec des bancs caractéristiques de dolomie jaunâtre ou rosée.

Le keuper moyen comprend, au sommet, une grande couche de dolomie, la dolomie moyenne indiquée comme horizon géognostique par E. de Beaumont. Au-dessous, viennent, d'abord un grès fin micacé avec roseaux (grès de Stuttgart et d'Heilbronn), une des plus

belles pierres de construction de l'Europe; puis des marnes versicolores avec gypse et sel. C'est le niveau du sel de Dieuze et de Nancy.

Enfin le keuper inférieur, ou lettenkohle, débute par une assise dolomitique riche en poissons et sauriens. A la base, viennent des couches charbonneuses (Gouhenans); accidentellement des lentilles de gypse sans sel gemme; enfin un banc de dolomie inférieure, poreuse et caverneuse, sous laquelle commence le muschelkalk où un sondage, foré à Lunéville en 1832, a retrouvé le niveau de sel du Wurtemberg.

Les concessions de mines de sel de Meurthe et Moselle sont échelonnées à l'Est de Nancy, dans les vallées de la Meurthe et du Sanon, depuis Nancy jusqu'à Rosières-sur-Salines et Einville-au-Jard. Le sel s'y présente sous forme de lentilles plus ou moins aplaties, peu inclinées et séparées par des bancs d'argile gypseuse et salée. Le groupe salifère comprend deux faisceaux de couches séparés par un intervalle argileux de 30 à 40 mètres d'épaisseur, et dont le plus élevé est seul exploité, le second n'ayant été atteint qu'en trois points par des travaux d'exploitation, à Varangéville, Dombasle et Gellenoncourt.

Le faisceau supérieur, que nous étudierons seul, a une importance considérable; au puits de la mine de Saint-Nicolas, où il est bien développé, il comprend 11 couches de sel offrant ensemble une épaisseur de $63^{m},70$, répartie sur une hauteur totale de $87^{m},36$; la couche inférieure seule a 21 mètres de puissance [1].

Chacune des couches de sel gemme est formée d'une succession de bancs superposés peu épais, de quelques centimètres de hauteur, réguliers et bien distincts, quoique souvent soudés entre eux et se différenciant par de légères variations de teinte. Le sel qui les compose est un agrégat de cristaux cubiques enchevêtrés en tous sens, dont les dimensions dépassent parfois un centimètre; il est translucide et de couleur grisâtre et présente une cassure irrégulière et lamelleuse. A la base des couches, les cristaux peuvent devenir beaucoup plus petits et donner un sel à texture grenue ou fibreuse.

On trouve habituellement, dans le sel gemme, une certaine quan-

[1] Nous empruntons cette description à un mémoire de M. Cousin sur l'industrie minérale en Meurthe-et-Moselle.

tité d'argile grise disséminée ; elle se présente en outre, dans les couches, en minces veinules horizontales régulières, séparant les bancs, et en veines verticales d'épaisseur et de direction très variables, généralement évasées vers le haut, et souvent accompagnées de nodules de sel en gros cristaux blancs et limpides. Le réseau formé par ces veines ressemble à celui des fissures d'une masse boueuse desséchée. Outre l'argile, le sel contient un peu d'anhydrite.

Les couches, au lieu d'être plissées comme dans le Jura, sont très régulières et leur pente est généralement faible et comprise entre 1 et 4 centimètres par mètre ; elles affectent des formes lenticulaires et ne s'étendent pas toutes sur la même surface, de sorte que leur nombre et leur épaisseur sont variables ; la plus étendue et la plus épaisse paraît être la couche inférieure qui occupe le onzième rang à Varangéville et qui a 21 mètres.

Malgré l'importance des exploitations, on ne connaît d'ailleurs encore de la formation salifère qu'une bande relativement étroite entre Nancy et Einville. On a pu cependant constater une diminution rapide de la puissance des couches vers le Sud-Est et l'Est. Vers le Nord au contraire, il est très probable que le gisement de Nancy va se relier à ceux de Dieuze et de Vic.

Ce gisement n'a pas d'affleurements ; le sel a été rencontré dans des sondages dont la profondeur varie de 40 à 240 mètres.

Le tableau suivant peut donner une idée de la variation du nombre et de l'épaisseur des couches.

LOCALITÉS	NOMBRE des couches	ÉPAISSEUR de la couche inférieure	ÉPAISSEUR totale du sel	ÉPAISSEUR des bancs stériles intermédiaires
Varangéville. Mine Saint-Nicolas	11	21m00	63,70	23,66
Einville. Puits Saint-Laurent.	4	5,33	18,93	3,45
Gellenoncourt. Sondage de recherche	9	14,35	41,15	28,40
Flainval. Sondage n° 14 de la concession.	3	6,30	13,00	14,75

A Varangéville, les 11 couches de sel sont réparties sur une hauteur totale de 87m,36.

Les concessions sont, du Sud-Ouest à l'Est, les suivantes :

Sainte-Valdrée, les Aulnois, Pont-de-Saint-Phlin et la Madeleine à Laneuveville ; Art-sur-Meurthe ; Saint-Nicolas et Rosières à Varangéville, Dombasle, Portieux, Flainval, Crévic, Sommerviller, Maixe, la Sablonnière et Saint-Laurent à Einville.

L'*exploitation* se fait, soit par carrières souterraines de sel gemme à piliers abandonnés sur les trois concessions de Rosières, Saint-Nicolas et Saint-Laurent, soit par dissolution dans les autres.

Dans la mine Saint-Nicolas, on avait employé longtemps un procédé spécial de havage à l'eau qui a eu pour effet de dissoudre progressivement le sel des argiles salées voisines, de les rendre pâteuses et de produire, le 31 octobre 1873, l'effondrement de toute la mine ; depuis, ce système a été abandonné.

Généralement, on opère par dissolution en atteignant la couche par un trou de sonde, posant un tubage percé de trous à la rencontre des nappes d'eau douce, de manière à ce qu'il se remplisse d'eau et pompant l'eau saturée de sel qu'il suffit ensuite de faire évaporer. La durée d'un sondage est limitée au temps nécessaire pour amener l'affaissement des terrains voisins : ce qui ne paraît d'ailleurs en général causer aucun danger.

Dans certains cas, les sondages rencontrent des nappes d'eau salée naturelles qui donnent une production beaucoup plus régulière et plus constante que la dissolution d'une masse de sel par de l'eau descendue du dessus. Ce sont quelques-unes de ces nappes qui alimentaient les sources salées exploitées autrefois dans la région.

L'eau salée des sondages en exploitation normale marque 21 à 25° 1/2 Beaumé, et contient 240 à 320 kilogrammes de sel par mètre cube, cette dernière teneur correspondant à la saturation. Quand une fuite se produit dans un tubage, on en est généralement averti parce que le degré de saturation descend rapidement par l'introduction d'eau douce.

L'eau salée est employée à la fabrication du sel raffiné et du carbonate de soude dans 14 salines et 2 soudières, occupant près de 2 000 ouvriers et toutes situées sur le canal de la Marne au Rhin, sauf celles de Dombasle et de Rosières.

Lorsqu'elle sort du sondage, elle est presque toujours trouble et très chargée de gaz (acide carbonique, oxygène, azote, un peu d'hydrogène sulfuré et de bicarbure d'hydrogène), probablement emprisonnés entre les lamelles de sel. On commence par la faire rendre dans des bassins de repos où l'on jette de la chaux destinée à précipiter l'oxyde de fer tenu en dissolution sous l'influence de l'acide carbonique et le chlorure de magnésium qui rendrait le sel déliquescent ; puis on évapore l'eau salée dans de grandes poêles rectangulaires en tôle de 6 à 8 mètres de large sur 20 de longueur et $0^{m},50$ de profondeur, couvertes de hottes en bois, avec des systèmes plus ou moins perfectionnés pour récupérer la chaleur emportée par les gaz combustibles et la vapeur d'eau, systèmes dans le détail desquels nous n'avons pas à entrer.

De 1885 à 1887, le département de Meurthe-et-Moselle a produit :

	Sel gemme	Sel raffiné	Carbonate de soude
1885	94 350 t.	153 000 t.	77 000 t.
1886	102 000 t.	135 000 t.	»
1887	91 000 t.	136 000 t.	»

Bibliographie.

1865. Mine de sel et salines de Saint-Nicolas. (*Cuyper*, t. XVIII, p. 375.)

17 juin 1867. Levallois. — Sur le Keuper de la Lorraine et de la Souabe. (*B. S. G.*, 2e, t. XXIV, p. 74.)

1888. — Cousin. Richesses minérales du département de Meurthe-et-Moselle.

SALINES DU CHESHIRE

Lorsqu'on examine une carte géologique de l'Angleterre (fig. 70), on voit aussitôt qu'elle est divisée en deux parties bien tranchées, séparées par une ligne à peu près droite qui, de Sidmouth à l'Est du Devon, par Bristol et Nottingham, va jusqu'à York et Gisborough à l'Est de Durham et de Newcastle. A l'Ouest de cette ligne droite sont les roches primitives, les terrains anciens, le houille, le trias et le permien ; à l'Est, tous les terrains récents disposés par bandes successives à peu près NE-SO, le lias, le jurassique, le crétacé, le tertiaire, etc.

Dans cette région Ouest, le trias semble déjà former une transition, un passage à l'allure qui va lui succéder; il comble, entre le pays de Galles et la région carbonifère et houillère de Manchester, Nottingham, Sheffield, une dépression NO-SE ; il s'allonge en

Fig. 70. — Carte géologique d'Angleterre au $\frac{1}{6\,000.000}$

bordure Est le long des terrains anciens, suivant une première bande NE-SO qui réunit le Durham à la pointe de Start.

Ce terrain triasique comprend, dans la partie supérieure des marnes keupériennes, deux grands gisements de sel gemme :

Le premier est dans le *Durham*, et a été l'origine des immenses usines de produits chimiques de Newcastle :

Le second, de beaucoup le plus important, est dans le *Cheshire* : il doit surtout sa prospérité à la proximité de Liverpool et est le grenier du sel du monde entier, les navires déchargés à Liverpool pouvant transporter à très bas prix le sel qui leur sert de lest pour retourner en Amérique, en Australie et dans toutes les colonies anglaises [1].

Caractère général de l'industrie du sel dans le Cheshire. — Le Cheshire, par suite de la situation économique que nous venons d'indiquer, peut faire avantageusement le commerce d'exportation du sel, sans avoir besoin de le transformer en un produit de plus grande valeur par les industries chimiques ; l'exploitation se fait donc surtout par la *dissolution suivie d'évaporation de la saumure ;* toutefois une certaine quantité de sel est extraite par *mines ;* en outre, depuis quelques années, deux grandes usines se sont fondées pour traiter directement la saumure par le procédé Solvay pour carbonate de soude.

L'industrie de cette région comporte donc les divisions suivantes :

1° Exploitation du sel par mines ;
2° — — par dissolution ;
3° Evaporation de la saumure ;
4° Fabrication du carbonate de soude.

Constitution géologique du Cheshire. — La formation triasique qui couvre le comté de Cheshire et qui déborde sur les comtés voisins du Lancashire au Nord, du Shropshire et du Staffordshire au Sud, constitue un vaste bassin, ou plus exactement une cuvette limitée de toutes parts par des terrains plus anciens, carbonifère, permien ou dévonien, le plus souvent en discordance. Les assises triasiques ont un plongement très marqué de la périphérie vers le centre, d'où il résulte que la formation doit avoir à sa partie centrale une puissance énorme dont on peut se faire une idée par le

[1] Il existe un troisième gisement en Irlande, près de Belfast (mines de Carrickfergus).

fait que les sondages n'ont jamais dépassé les marnes keupériennes. Le caractère particulier de ce gisement salifère est qu'il existe, dans l'épaisseur de la formation, une *nappe d'eau salée naturelle* qu'il suffit d'atteindre par des sondages et de pomper.

La succession générale des assises est la suivante :

1° Un *dépôt glaciaire* de sable et argile avec cailloux, d'une puissance très variable (1 à 15 mètres), couvre toute la région des salines.

2° Le *Keuper supérieur* (ou Marnes irisées) est composé de marnes en zones de couleurs variées, brun, brun rougeâtre, blanc bleuâtre, etc., avec deux grands lits de sel présentant une puissance assez constante de 100 mètres dont 45 mètres à la base sont du sel gemme. (C'est le niveau exploité.)

3° *Waterstones.* — Ce sont les marnes irisées moyennes composées de lits bien stratifiés de grès argileux et de marnes schisteuses pénétrant dans le grès. On y rencontre plusieurs lits (4 ou 5) de sel variant de quelques centimètres à $2^{m},10$ de puissance; la puissance minima de l'assise est de 45 mètres.

4° *Basement beds* (Marnes irisées inférieures du muschelkalk). — Cet étage est composé de plusieurs bancs de grès à gros éléments, (conglomérate sandstones) avec lits intercalés de grès tendre et d'argiles schisteuses. Il fournit de bonnes pierres de construction.

5° *Bunter* (Grès bigarré). — Etage constitué par une puissante assise de grès très nettement bariolés et zonés, à Liverpool par exemple, d'autres fois d'une teinte rouge foncé.

Les géologues anglais y distinguent trois assises :

Upper mottled sandstone.

Pebble beds (tunnel de la Mersey), remarquable par de nombreuses inclusions de quartz vitreux.

Lower mottled sandstone.

La coupe détaillée du keuper supérieur et du keuper moyen, qui sont les assises salifères, est donnée dans la section suivante d'un des puits de Northwich visités par M. Damour.

Puissance	
0,46	Terre végétale.
2,28	Dépôt glaciaire de sable et argile.
5,48	Argile brune avec fragments de roches, greenstones, etc.

Puissance	
31,00	Marne en lits minces, brune et bleue avec cristaux et lits de gypse, se terminant par une couche dure et compacte appelée *flags*.
25,60	*Lit de sel gemme supérieur* (top bed).
1,82	Calcaire marneux bleuâtre (Marlstone).
2,13	Marnes et calcaire marneux brun, avec veines de sel gemme (Marlstone).
1,52	Calcaire marneux bleuâtre, dur.
3,65	Mélange de sel et argile.
25,60	*Lit de sel gemme inférieur* (bottom bed).
1,22	Calcaire marneux brun et bleu avec sel (Marlstone).
24,00	— — avec veines nombreuses de sel gemme.
0,90	Sel gemme très pur.
24,68	Calcaire marneux brun et bleu (Marlstone).
1,82	Sel gemme transparent ayant pour mur un Marlstone très dur.

Il y a lieu de remarquer que chacune des deux puissantes assises de sel qui forment l'objet d'une exploitation régulière est surmontée d'une couche de marnes dures qui ont une très grande importance au point de vue des résultats obtenus. Les marnes dures qui surmontent le lit de sel inférieur, *bottom-bed*, servent, en effet à asseoir sur une fondation solide les cuvelages des mines de sel. Celles qui surmontent le lit supérieur ou *top-bed*, appelées elles-mêmes les *flags*, ont un rôle plus important encore, le même que les argiles du Gault dans le bassin parisien : par suite de leur imperméabilité et de leur résistance qui les empêche de se fissurer, elles forment un plafond étanche au-dessous duquel existe une puissante nappe d'eau qui, maintenue entre les flags et la couche de sel, dissout lentement cette dernière, au point d'arriver au centre du bassin complètement saturée (27 p. 100) de chlorure de sodium.

La nappe d'eau circule, soit dans des canaux qu'elle s'est creusée dans le banc de sel dont le toit a la forme d'une surface ondulée, soit à travers un lit de sable et gravier très perméable (*horse beans*) qu'on ne saurait comparer qu'aux sables verts du bassin parisien.

Comme dans le bassin parisien, c'est par les affleurements que les eaux de surface peuvent pénétrer sous les marnes. Ces affleurements ne peuvent facilement être déterminés; car, là où le sel gemme a recoupé autrefois la surface, il a été promptement

dissous par les eaux superficielles; mais ils sont marqués par une rangée de lacs situés sur la périphérie du bassin, notamment aux environs de Crewe, et dont on attribue la formation à la dissolution du sel gemme.

Au centre du bassin, l'eau salée se trouve sous forte pression, et, dans les parties basses du Cheshire, notamment dans la vallée de la Weaver, son niveau piésométrique est plus élevé que la surface topographique : d'où résulte que, là où les flags présentent des fissures, il s'est formé des *sources salées*, et que, lorsque l'on perce les flags, la saumure est jaillissante, ou du moins l'était avant que le grand nombre des forages eût fait baisser la charge des eaux.

Les sources d'eau salée (*wiches*, d'où la terminaison en wich de nombre de villes du Cheshire) ont été utilisées de toute antiquité; aujourd'hui elles sont taries ou insuffisantes pour alimenter une usine; mais la nappe d'eau salée est de plus en plus exploitée et fournit la presque totalité du sel du Cheshire.

Ressources présumées du gîte du Cheshire. — Les ressources présumées des gîtes précédents sont très grandes. La couche de sel s'étend sur une superficie de 32 kilomètres sur 24 kilomètres, soit 768 kilomètres carrés. La puissance moyenne étant de 45 mètres, le gîte est considéré comme représentant un volume de 34 560 000 000 de mètres cubes, et un poids d'environ 80 000 000 000 tonnes. Il est vrai que 25 mètres seulement sont exploitables; car le niveau topographique du Cheshire n'étant pas supérieur à 25 mètres au-dessus de la mer, on ne pourrait dissoudre la totalité du gîte sans submerger le district sous les eaux de l'océan; mais, même en tenant compte de cette restriction, on admet qu'il reste environ 40 milliards de tonnes qui laissent toute sécurité sur l'avenir du gîte.

Exploitation du sel gemme par mines. — L'exploitation par mines ne représente que le dixième de l'extraction totale, et s'est élevée, en 1884, à 176 056 tonnes; le sel ainsi extrait est destiné à l'agriculture et à certains usages industriels : produits chimiques, métallurgie pour les grillages chlorurants, etc...

Le sel est cependant très pur, surtout à la base du bottom-bed. La composition moyenne est la suivante :

NaCl	$CaOSO^3$	CaCl	Matière insoluble
98,32	0,65	0,01	1

L'exploitation, commencée dans le top-bed, est poursuivie aujourd'hui uniquement dans le bottom-bed, toutes les mines supérieures, sauf une, ayant été inondées pour cause d'insuffisance des piliers, et le sel étant plus pur dans cette dernière couche. La tranche que débite l'exploitation est à 1 mètre au-dessus du mur de la couche, de façon à laisser un plancher solide; la hauteur exploitée est de $4^m,50$ à 6 mètres. On obtient ainsi un plafond de 18 mètres d'une grande solidité.

L'exploitation se fait par piliers abandonnés ; ces piliers, laissés jadis tout à fait au hasard, sont maintenant alignés ; les piliers carrés ont $9^m,15$ de côté ; ils sont espacés de $22^m,85$: ce qui donne, comme rapport du plein au vide, un douzième.

L'abatage s'exécute en deux étages : un *étage supérieur* (*roofing*), qui est un véritable traçage en hauteur, conduit sur une hauteur de 2 mètres, et qui se débite par havage, au pic où à la haveuse mécanique, suivi de coups de mine; un *étage inférieur* (*benching*), haut de 4 mètres et qui s'exploite par simples coups de mine tirés en gradins.

Dans le premier, le rendement du mineur, dans le cas du travail au pic, est de 1 tonne à $1^t,5$, et le coup de mine donne à peine trois quarts de tonne.

Dans le second, le rendement du mineur est d'au moins 5 tonnes et un coup de mine peut donner jusqu'à 10 tonnes de sel, exceptionnellement.

Les *frais spéciaux* d'abatage, roulage, poudre, etc., du minerai rendu au pied du puits s'élèvent, dans le cas du havage au pic, à 1 fr. 92 la tonne.

Exploitation par dissolution. — La dissolution se présente dans des conditions particulièrement avantageuses, puisque c'est la nature qui se charge d'alimenter les puits ; tout l'art du mineur consiste à foncer un puits dans un endroit où l'eau soit assez

saturée, dans un golfe de la nappe d'eau souterraine. Aussi l'épuisement de la saumure a-t-il pris un développement extraordinaire : il s'est élevé, en 1884, à 7 487 000 mètres cubes, qui ont donné 1 740 000 tonnes de sel marchand et une quantité de soude Solvay correspondant à 131 000 tonnes de sel.

Les eaux salées ne sont pas toutes empruntées à la nappe d'eau dont j'ai parlé; un grand nombre de puits, surtout à Northwich, s'alimentent aux anciennes mines inondées, s'établissant en dehors du périmètre de la mine ou sur un des piliers, et rejoignant le réservoir par une galerie dont le percement présente de très grandes difficultés par suite de la haute pression dans les mines.

Le niveau dans les puits est très différent d'un endroit à un autre : il varie, dans un même puits, avec l'activité de l'épuisement; en outre, on observe, dans tous les puits, une baisse lente à mesure que l'exploitation va croissant. Dans les puits de la première catégorie (nappe d'eau salée), il varie depuis quelques mètres en dessous du sol jusqu'à 50 mètres; dans les autres, il atteint 100 mètres.

La saumure sortant des pompes est presque saturée de sel : sa teneur en chlorure de sodium est de 25 à 26 p. 100, la saturation étant à 27 p. 100; elle est donc apte à être évaporée directement sans addition de sel en morceaux dans les cuves.

Les sels contenus sont les mêmes que dans l'eau de mer, mais la proportion des sels terreux au sel gemme y est plus élevée.

L'épuisement est fait par des compagnies spéciales qui livrent le mètre cube d'eau au prix de 0 fr. 30 aux usines d'évaporation; ces compagnies possèdent, à cet effet, un réseau de tuyaux en bois ou en fonte qui sillonnent toute la région. L'un deux, long de 12 milles, va de Northwich à Winsford sur la Mersey.

Fabrication du sel blanc. — Cette fabrication se fait dans de grandes chaudières de 8 mètres sur 20 et parfois 40 mètres; l'évaporation est conduite différemment suivant la finesse du grain que l'on veut obtenir; les sels de table si fins de l'Angleterre et de l'Amérique sont dus à une évaporation à l'ébullition avec rablage incessant.

s frais de traitement sont :

Indemnité au propriétaire du sol	0,50
Achat de la saumure	0,30
Main-d'œuvre de fabrication	1 à 1,25
Charbon (500 à 600 kilog.)	4,25 à 5,10
Frais généraux	1,25
	7,30 à 8,40

brication de la soude. — La fabrication de la soude qui cute dans le Cheshire est l'application simple du procédé à noniaque.

ets de l'exploitation par dissolution. — La dissolution du sel aissée absolument au hasard; aussi ses effets sur la région ere sont-ils désastreux. Les cavités, dont le volume atteint 000 mètres cubes par an, produisent des effondrements lents rusques dont les effets sont effrayants.

ns la campagne, ces effets se traduisent par la formation menses trous coniques dont quelques-uns ont 60 et même mètres de diamètre à la base, et qui sont causés en général 'effondrement d'anciens puits de mine.

côté de ces grands trous, on en compte des centaines d'un ètre de 20 à 25 mètres qui, par suite de la nature argileuse errain, sont transformés en petits lacs. A Northwich, il s'est é un immense lac de 44 hectares, d'une profondeur de ètres en certains points, là où primitivement s'élevait une e colline.

ns les villes, aucune construction ne peut résister, et on ontre, à *Northwich*, telle maison dont le premier étage est tenant au rez-de-chaussée.

s lois anglaises protègent d'ailleurs les exploitants, et les naux passent pour repousser toute demande d'indemnité ntée par les propriétaires dont les immeubles sont ruinés ne exploitation aussi destructive.

Bibliographie.

Damour. — Rapport manuscrit.
Davies, p. 61.

Quelques mots seulement sur les autres gisements de sel anglais[1] :

Nord de l'Angleterre. — Autrefois, on produisait une assez forte proportion de sel à l'embouchure de la Tyne par évaporation de l'eau de la mer. Cette industrie, qui occupait environ 200 poêles, il y a deux siècles, a graduellement disparu devant les progrès des mines du Cheshire et d'Irlande. Cependant, on continue à employer l'eau de la mer pour dissoudre les blocs de sel provenant des mines voisines et il existe plusieurs fabriques de produits chimiques. Environ 90 000 à 100 000 tonnes de sel sont encore traitées par 30 000 tonnes d'acide sulfurique pour donner 100 à 110 000 tonnes de sulfate de soude.

Depuis 1864, on a, en outre, découvert, au Sud de la Tyne, des gisements de sel importants, qui font l'objet d'une exploitation suivie[2]. Au-dessus du sel, se trouvent plusieurs couches de gypse, de grès rouge et d'argile bleuâtre avec un peu de calcaire.

Irlande[3]. — On exploite le sel en Irlande dans la partie supérieure du keuper depuis plus d'un siècle auprès de *Carrickfergus*. La production a été, en 1881, de 31 730 tonnes de sel en blocs et 64 000 tonnes de sel raffiné.

L'exploitation se fait souterrainement par piliers et galeries.

SALINES DE L'ALGÉRIE

Il semble falloir rattacher au crétacé les amas de sel de l'Algérie. Quand on franchit le Tell et qu'on descend les contreforts de l'Atlas, on entre dans l'immense dépression qui comprend les Schotts et se continue par la vallée de l'Oued-Rir. Sur la route d'Alger à Laghouat, dans le dernier creux avant le Sahara proprement dit, au Sud de la petite ville de Boghar, se trouvent des masses de sel de quelque importance.

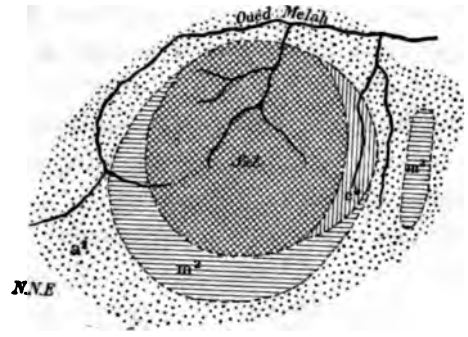
[1] Davies, p. 76.

[2] Voir la coupe des terrains dans Davies, p. 77.

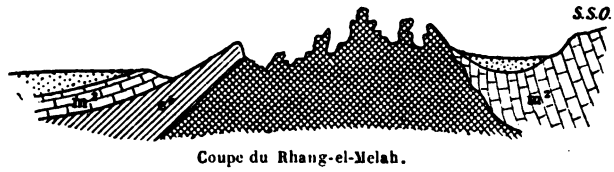
[3] Davies, p. 79, donne, sur ces mines, des renseignements historiques et une coupe.

Il en est de deux types distincts, les unes formant des gîtes proprement dits, les autres se présentant sous forme de marais salants provenant du délavage des premiers.

Le gîte proprement dit se nomme *Rhang-el-Melah;* les petits amas secondaires sont : *Zahrez-Chergin* et *Zahrez-Rharbi*, alimentés par un cours d'eau nommé l'Oued Melah.



Carte géologique du Rhang-el-Melah.



Coupe du Rhang-el-Melah.

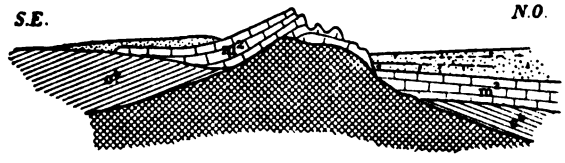


Fig. 71.

Coupe de l'Ain Hadjura (à 36 kilomètres au S-O. du Rhang-el-Melah). a^4, alluvions. — m^2, miocène. c^1, cénomanien. — sel (représenté par des hachures croisées).

La forme du Rhang-el-Melah est extrêmement bizarre ; on peut se la représenter comme un cône d'assez grande dimension éventré par des ravins (fig. 71). Au centre d'une plaine d'alluvions surgit un massif crétacé entouré par du miocène en stratification discordante. C'est au centre de cet affleurement crétacé que se trouve le sel. Une coupe empruntée à M. Ville, montre une série de récifs de sel ruiniformes, surmontés souvent d'un lambeau d'argile, et

demeurés debout par un phénomène analogue à celui des Erdpyramiden.

Le crétacé est du cénomanien à Ammonites Fourneli, Hemiaster Fourneli, Belemnites Semi-labiculatus, etc. M. Ville, qui a étudié ce gisement, a constaté, dans les parties hautes, la présence de fragments de marne empâtés dans le sel, et en a conclu à une sorte d'éruption. Il est probable qu'on a affaire à un phénomène d'intrusion simplement mécanique analogue à celui que nous constaterons en Transylvanie à Maros Ujvar [1].

Ce gisement du Rhang-el-Melah n'est d'ailleurs pas isolé; nous donnons plus haut (fig. 71) la coupe d'un autre amas de sel, celui d'Aïn-Hadjura situé au Sud du premier.

Le sel de ces affleurements est extrêmement pur. Il présente, en outre, des masses considérables. Le seul cubage des amas apportés par l'Oued-Melar dans des bassins sans issue, ne donne pas moins, paraît-il, de 250 millions de tonnes. M. Ville a essayé d'en conclure l'époque du creusement de la vallée de cette rivière. L'Oued Melar coule actuellement à raison de 1 mètre par seconde apportant 1 kg. 50. En faisant le calcul, on trouve qu'il a suffi de 5 300 ans pour constituer les dépôts de sel secondaires que nous constatons.

Bibliographie.

1856. Ville. Sur les salines des Zahrez et les gîtes de sel du Rhang-el-Melah. (*Ann. d. M.*, 5e, t. XV, p. 351.)

1868. Coquand. — Sur l'âge des gisements de sel (Djebel Melah) de l'Algérie et l'origine des lacs salés (Chotts et Sebka). (*B. S. G.*, 2e série, t. XV, p. 131.)

1889. Pouyanne. — Richesses minérales de l'Algérie.

SEL D'ESPAGNE

L'Espagne présente des gisements de sel qui semblent se rattacher à l'éocène.

Le plus important de ces gîtes, situé dans la province de Catalogne, est celui de *Cardona*, à 86 kilom. N.-O de Barcelone, sur

[1] Page 506.

le Cardonero, affluent du Llobregat. Cette mine se trouve au milieu d'une longue bande de terrain éocène qui suit les Pyrénées, au Sud, de Pampelune à la Méditerranée.

Le pays se compose d'un plateau assez élevé que coupe la vallée du Cardonero. Sur les deux rives, et particulièrement auprès de Cardona, il existe des rochers de sel gemme, si bien qu'on a pu dire que la ville était bâtie sur le sel.

La partie exploitée a 150 mètres de haut et 4 kilomètres de circonférence à la base. L'extraction se fait à ciel ouvert par tranchées horizontales. On estimait, il y a quelques années, la valeur du sel extrait à un million de francs par an.

Tout le sel de cette région est rouge et forme, dans les crevasses des strates, des stalactites, comme des grappes rouges.

Un autre dépôt étendu se trouve entre *Caparosa* et l'Ebre. Un lit de sel de $1^{m},60$ est interstratifié entre le gypse et l'argile.

Enfin à *Posa*, près de Burgos, il existe un gisement qu'on a décrit comme présentant une origine éruptive.

A cette occasion, nous pouvons citer, dans le Sud de l'Espagne, les salines de San-Fernando donnant 200 000 tonnes de sel surtout exportées en Amérique, et celles de Fuente-Piedra en donnant 300 000.

Bibliographie.

1854. DE VERNEUIL et LORIÈRE. — Sur les mines de sel du centre de l'Espagne. (*B. S. G.*, 2e, t. XI, p. 675.)

1868. Mines de sel gemme de Cardona. (*Bull. Ann. d. M.*, 6e série, t. XX, p. 664.)

1881. DUBOUL. — La mine de sel gemme de *Cardona* (Haute-Catalogne). (*Bull. Soc. hispano-portugaise*, t. II, n° 1, 1881.)

1882. DIEULAFAIT. — *Revue Sc.*, 8 juillet 1882, p. 34.

SEL DE L'INDE (EOCÈNE)

Il existe dans l'Inde des gîtes de sel que leur âge rapprocherait de ceux d'Espagne.

Dans la région Ouest-Nord-Ouest du Pendjab, sur les deux rives de l'Indus, au Sud de Peshawar, se trouvent des gisements de

sel d'autant plus curieux que, d'après les géologues anglais, ceux de la rive Est seraient au moins siluriens, sinon plus anciens [1], tandis que ceux de la rive Ouest seraient éocènes (ou peut-être triasiques). Des deux groupes, celui de l'Ouest est le plus important. Il couvre près de 1 000 milles carrés, depuis l'Afghanistan jusqu'à l'Indus, entre Bannu et Kohat. Il y a là quatre longues rangées de collines à peu près parallèles, et, en gros, Est-Ouest. Le pays est sauvage, stérile, avec un sol verdâtre, que colorent par places le rouge pourpre de l'argile, le blanc du gypse et du sel.

Les terrains représentés dans la région vont de l'Eocène à nummulites au Pliocène. C'est au-dessous du grès à nummulites que se trouvent d'abord une couche de gypse, puis des amas de sel qui ne paraissent pas présenter de discordances de stratification avec l'éocène et qu'on y a par suite rattachés; quoique, à la rigueur, ils puissent être triasiques.

Les rochers de sel forment des collines et des falaises ayant jusqu'à 60 mètres de haut, en particulier au voisinage de *Bahadur-Khel* où, sur une longueur d'un quart de mille, le sel compose les rochers des deux côtés d'une étroite vallée, et constitue une des plus vastes masses de sel exposées à nu que l'on connaisse; les gisements de sel sont blancs ou gris avec un peu de fine argile bleue ou grise disséminée. Le gypse s'y présente souvent en petits fragments; mais on remarque l'absence des sels de potasse et autres généralement associés au sel marin. Ils diffèrent de ceux des Salt-ranges [2] situés à 100 ou 160 kilomètres à l'Est de l'Indus en ce qu'ils forment une masse solide et homogène, et sont blancs au lieu d'être rouges. L'âge est d'ailleurs loin d'être le même, puisque, comme nous l'avons dit, ceux des *Saltranges* sont subordonnés au silurien.

Le gisement appartient au gouvernement anglais qui perçoit une taxe sur l'exploitation.

[1] Voir page 475.
[2] Voir page 475.

GISEMENTS DE SEL TERTIAIRES DE LA RÉGION CARPATHIQUE

Nous arrivons aux gisements de sel miocènes répartis en Europe sur le pourtour des Carpathes, en Roumanie, Transylvanie et Galicie.

Suess[1], en étudiant l'histoire de la Méditerranée dans ses phases successives, a bien montré comment ces gisements s'étaient formés et se reliaient les uns aux autres.

La première phase de la Méditerranée, phase miocène comprenant les faluns de Léognan, les formations marines inférieures de la vallée du Rhône, la mollasse marine de Suisse et de Bavière, les calcaires inférieurs de Malte, etc. (tongrien, aquitanien, mayencien, des sables de Fontainebleau à ceux de la Sologne) avait eu une grande extension. Elle avait recouvert, au Sud, une grande partie de la Méditerranée actuelle, la Corse, la Sardaigne, le Maroc, laissant seulement émergés la mer Egée, le Pont-Euxin, la Roumélie et l'Anatolie ; elle s'était étendue de Madère à la Perse en baignant par le Sud les grands horst européens, le Plateau Central et la Bohême.

A la fin de cette période caractérisée par des dépôts variés d'argile, de sables et de calcaire, la mer qui s'était ainsi développée sur des surfaces considérables, sous une épaisseur assez faible, subit un mouvement de recul, laissant en arrière de vastes lagunes peu à peu évaporées.

C'est l'époque très remarquable qu'on appelle le *Schlier;* nous assistons alors, dans l'Est de la Bavière, en Autriche, en Italie, en Valachie, en Lycie, jusqu'en Perse probablement, à la fin, à la disparition de la première Méditerranée. Sur toute cette région, le long des Carpathes, sur le bord extérieur des Apennins, etc... se dépose à ce moment une argile toujours semblable, d'un gris bleu, un peu micacée, peu plastique, une mollasse marine contenant de nombreuses lentilles de sel et même, en certains points comme

[1] Antlitz der Erde, p. 197.

à Kalusz, des sels alcalins prouvant une évaporation déjà très avancée. Les sels de Wieliczka, Bochnia, Torda, Maros Ujvar, ceux de Roumanie, peut-être aussi ceux de Perse et de l'Inde, les dépôts alimentant les sources thermales de Hall, Luhatschowitz, Darkau, Gotschalkowitz, etc., sont de cette époque ainsi que le gypse d'Arménie.

Quand cette période est terminée, sur la partie supérieure du Schlier saturée de gypse, apparaissent enfin, en basse Autriche, des plantes terrestres; puis reviennent des sables, précurseurs tantôt d'une nouvelle faune marine, tantôt d'une faune saumâtre qui caractérise l'époque Capsienne.

Nous allons décrire successivement les salines de Roumanie, Transylvanie et Galicie.

SALINES DE ROUMANIE [1]

Les salines de Roumanie sont situées dans le Salzthon-gruppe, au-dessous du pliocène, représenté par des *Couches à Paludines* (pétrolifères [2]), elles-mêmes surmontées par l'étage des *grès et sables à Congéries* (pliocène inférieur ou miocène supérieur).

Ces couches à paludines et à congéries forment, entre Plojesti et Kampina, une ligne de collines qui domine la plaine d'alluvions du Danube et est, à son tour, dominée par les montagnes de grès carpathiques (vallées de la Doffana et de la Prahowa, au Nord de Kampina), de grès à ménilites (au-dessus de Slanic), et de grès néocomiens à fucoïdes (au Nord de Commarnicu).

La formation argilo-salifère renferme, à sa partie supérieure, des argiles rougeâtres avec minces lits de grès; à sa base, des schistes gréseux micacés et des schistes argileux verts ou gris, qui apparaissent, par exemple, à Commarnicu, sur le bord de la faille séparant le miocène du pliocène.

Les grès micacés comprennent gypse, sel, soufre.

[1] Coll. *École des Mines*, 1715.

[2] Voir p. 116. Le pétrole y apparaît à quatre niveaux principaux dont le plus profond est aussi le plus abondant; en particulier à la mine de M. Cantacuzène, à Draganese.

Les gîtes sont de forme lenticulaire, non traversés à 200 mètres de profondeur, et mal connus.

Des plissements complexes en rendent l'étude difficile.

Ils sont distribués sur trois grandes lignes correspondantes à des zones de plissements :

1° La première, au Nord, passe par Slanic, Buzeu, Rymnik-Sarat;

2° La deuxième par les Grandes Salines, Kampina, Telega.

3° La troisième par Tirgoviste et Baïcoi.

Le sel est, comme dans bien d'autres régions, associé au pétrole.

Ces salines sont exploitées, surtout depuis 1868, par grandes galeries ; l'abatage se fait, depuis 1884, à Slanic, au moyen de haveuses mécaniques.

La production a été la suivante, depuis quelques années :

	Tonnes.		Tonnes.
1864.	45 000	1881-82.	79 029
1868.	51 400	1882-83.	78 754
1872.	65 000	1883-84.	86 644
1876.	73 000	1884-85.	70 408
1880.	80 000		

Pour l'exercice 1884-1885, le sel se répartit ainsi :

Slanic	21 351	tonnes.
Doftana.	29 958	—
Tirgù-Ocna	9 072	—
Grandes-Salines.	10 027	—
Total. . . .	70 408	tonnes.

Le sel vendu, pendant l'exercice 1884-85, se répartit de la manière suivante :

Consommation locale . .	50 853	tonnes.
Bulgarie.	15 553	—
Serbie	5 057	—
Russie	2 290	—
Total. . . .	73 753	tonnes.

Le prix de revient est représenté par le tableau ci-dessous :

	1881-82	1882-83	1883-84	1884-85
	FR.	FR.	FR.	FR.
Personnel	2,31	2,15	1,97	2,53
Abatage et extraction. . . .	3,90	4,07	4,29	4,68
Sacs.	1,40	1,70	0,76	1,07
Divers	0,94	0,94	0,84	1,00
Installations et machines nouvelles	3,76	2,28	2,44	2,84
Prix de revient aux Salines.	12,31	11,14	10,30	12,12

A cela, il faut ajouter 19 francs pour les transports et les frais de vente par tonne de sel transportée aux dépôts.

Quant au prix de vente, il est de :

	CONSOMMATION LOCALE		EXPORTATION	
	Sel pris à la saline	Sel pris aux dépôts	Russie et Bulgarie	Serbie
	FR.	FR.	FR.	FR.
Sel de Doftana.	70	95	40	49,50
— Tirgu Ocna.	70	95	40	»
— des grandes salines . . .	70	»	»	»
— en blocs de Slanic				
qualité supérieure. .	80	95	40	
— ordinaire . .	80	105	45	52,50
— moulu de Slanic	90	105	47	»

En 1881, le prix du sel destiné à l'exportation variait de 62 à 70 francs.

Les bénéfices de l'état sur la vente du sel sont de 4 000 000 de francs ; le nombre d'ouvriers de 120 à 180 par saline.

Bibliographie.

1872. Boué. — Sur les gites de sel de Valachie. (*B. S. G.*, 2e, t. XXIX.

1872. Fuchs et Sarasin. — Note sur les sources de pétrole de Kampina, p. 243. (*B. S. G.*, 3e, t. I, p. 251.)

1874. Boué. — Sur les gites de sel de la Roumanie. (*B. S. G.*, 3e, t. III, p. 52.)

1874. Coquand. — Sur l'âge des sels gemmes de la Moldavie. (*B. S. G.*, 3e, t. II, p. 365.)

Dr Olszewski. — Le pétrole en Roumanie.

Cobalcescu et Tietze. — Géologie de la Roumanie. (*J. d. KK. g. R. in Wien.*)

Dianu. — Notes sur les salines de Roumanie (en roumain).

1886. Pellé. — Les salines de Roumanie. (*Ann. d. M.*, 8e série, t. X, p. 270.)

SALINES DE TRANSYLVANIE — MAROS-UJVAR PARAYD, MARMAROS, etc. [1]

La zone salifère de la Transylvanie a une direction générale NNE-SSO parallèle aux plissements des terrains divers du permien au crétacé qui ont, eux-mêmes, épousé l'allure générale des schistes primitifs.

Dans cette région, les roches cristallines forment un éperon saillant allant des Portes de fer vers Klausenburg et au delà, et séparant le bassin tertiaire de Klausenburg de celui de Budapest. C'est parallèlement au bord Est de ce massif de roches que le miocène est salifère.

On rencontre le sel, du Sud au Nord : à Vizakna près Hermanstadt, à Maros-Ujvar, à Parayd, à Thorda, à Dees.

Plus au Nord, on trouverait, à peu près dans le même alignement, Marmaros près Szigeht. Après quoi, les gisements se retournent à l'Ouest, toujours en suivant les Carpathes, vers Wieliczka, près de Krakau (Cracovie) [1].

Quelques-uns de ces gisements, en particulier celui de *Maros-Ujvar*, présentent, d'ailleurs, les preuves très nettes d'une action mécanique postérieure au dépôt : action qui, à Maros-Ujvar, a donné au sel tout à fait l'apparence d'une matière ayant fait intrusion dans le tertiaire comme une roche éruptive, tandis qu'en réalité on n'a affaire qu'à un simple plissement dont la figure 72 (p. 506) donne la coupe théorique.

Le sel, situé en masse compacte au milieu d'argiles tertiaires

[1] Coll. *École des Mines*, 1873.

[2] Voir page 510.

où l'on n'a pu encore trouver aucune trace de fossiles, est terminé par des plans verticaux très nets et polis, le long desquels il s'est fait un glissement. Le sel a en effet, pour des causes analogues, quelque chose de la plasticité de la glace. On a remarqué que l'anneau de sel AB allait en s'élargissant avec la profondeur et que les couches d'argile, presque verticales au voisinage du gisement, se rapprochaient peu à peu de l'horizontale à mesure qu'on s'en éloignait.

Le sel de Maros-Ujvar est d'une pureté remarquable. Dans toute la masse, on peut compter sur une teneur moyenne de près

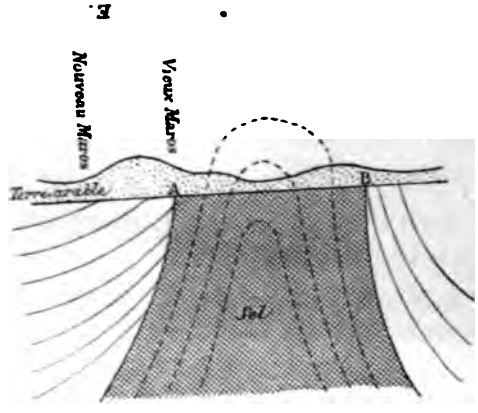


Fig. 72. — Coupe verticale théorique du gîte de sel de Maros Ujvar.

de 99 p. 100 de sel. On y trouve seulement quelques traces de gypse et d'anhydrite avec une faible proportion de carbure d'hydrogène qui lui donne une odeur assez sensible. Comme restes organiques, on y a rencontré, de même qu'à Thorda et à Wielicza, de rares foraminifères appartenant à la première faune méditerranéenne.

La mine est exploitée par immenses chambres éclairées à la lumière électrique[1].

A *Parayd*, un peu plus au Nord, se trouve, dans des conditions analogues, au-dessous d'une grande masse argileuse alternant avec des tufs de rhyolite, une petite saline qui extrait environ 300 tonnes par an.

[1] Voir plus loin, page 515.

Marmaros[1] se compose de trois mines : Szlatina, Ronaszk, Szukatak (que nous allons décrire plus loin), avec une fabrique de soude à Boksö. Il y a, en outre, une cinquantaine de sources salines, tenant depuis 6 gr. 69 jusqu'à 26 gr. 75 de sel par litre.

Les couches de sel, donnant lieu à l'exploitation de Marmaros et connues déjà avant l'époque romaine, n'ont que quelques points d'affleurement, mais forment souterrainement une bande continue, comme le prouve le nombre considérable des sources salifères.

Elles commencent à Selitché, entre la Hongrie et la Transylvanie, et s'étendent sur toute la longueur du comitat, durant plus de 100 kilomètres, en suivant le cours de la *Theiss;* au Sud-Ouest, elles sont limitées par une chaîne trachytique.

Les fossiles trouvés dans la couche sont les mêmes qu'à Wieliczka, c'est-à-dire du Schlier. Au-dessus du sel, est une couche d'argile noir bleuâtre d'une épaisseur variable atteignant parfois 40 mètres.

Les parties supérieures de cette argile sont plastiques et imperméables, mais quelquefois sableuses ; la partie inférieure est toujours imprégnée de sel.

On ne connaît pas l'épaisseur totale des couches de sel ; mais on est descendu jusqu'à la profondeur de 153 mètres sans que le sel ait perdu sa qualité.

Étudions successivement les trois groupes de mines de Marmaros :

A. Groupe de Szlatina. — Les mines de Szlatina ne sont qu'à 2 ou 3 kilomètres de Marmaros-Szigeth.

La coupe générale, dirigée du SO-NE, est la suivante (fig. 72).

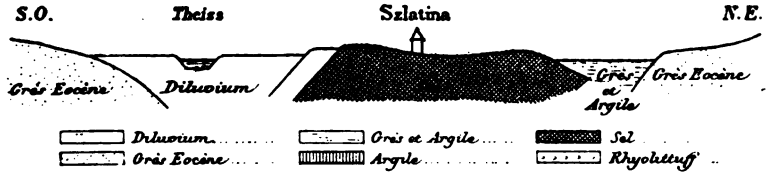


Fig. 73 — Coupe verticale S.O-N.E du groupe de Szlatina.

La couche de sel, d'une seule étendue, a 664 mètres de longueur en direction; 1140 mètres suivant la pente. On l'a recon-

[1] Voir Henriot, mémoire manuscrit 1006 à l'*Ecole des Mines* (1881).

nue sur 112 mètres de profondeur. La direction générale est Nord 45° Ouest.

Le sel présente deux clivages verticaux et horizontaux. L'exploitation se fait par grandes chambres dont les principales sont:

1° *François*, commencée en 1808; hauteur, 25 mètres; longueur: 165 mètres; surface du sol, 15 000 mètres carrés.

3° *Cunégonde et Nicolas;* hauteur, 65 mètres; longueur, 380 mètres; largeur moyenne, 60 mètres. On en a déjà extrait 500 000 tonnes. On y emploie 200 ouvriers extrayant 120 tonnes par jour, ce qui donne par an 33 600 tonnes pour 280 jours de travail.

B. Groupe de Rônaszek. — Rônaszek est à 18 kilomètres au Sud de Marmaros-Szigeth. La partie exploitée a 1 327 mètres de long, 474 mètres de large et 120 mètres de profondeur; direction Nord 45°; pente à 55°.

Fig. 71. — Coupe verticale du groupe de Ronaszek.

Ce groupe comprend un grand nombre de mines moins remarquables que les précédentes.

C. Groupe de Szukatak. — Szukatak est à 17 kilomètres au Sud de Szigeth.

La couche a été exploitée sur 1 517 mètres en direction, 474 de large, 135 mètres en profondeur; direction Nord 45° Est; pente: 60 à 80°.

On l'a reconnue sur 5 000 mètres de long et 3 000 de large.

L'extraction se fait au moyen de manèges.

Production de Marmaros. — On extrait chaque année des salines de Szlatina, Ronaszk et Szukatak 150 000 mètres cubes d'eau salée tenant 7 000 tonnes de sel dissous et l'écoulement des galeries

donne encore 140 000 mètres cubes d'eau salée tenant 1 000 tonnes de sel.

Au point de vue de la production du sel gemme, on ne possède de renseignements statistiques sur les salines de Marmaros que depuis l'établissement de la monarchie hongroise.

La production annuelle a été :

de 1720 à 1730	de 9 858	tonnes.
1731 à 1750	16 800	—
en 1791.	47 450	—
de 1846 à 1855	45 048	—
1856 à 1865	52 164	—
1866 à 1875	64 850	—
enfin en 1879	150 000	—

Frais. — Les frais de main-d'œuvre sont de 28 fr. 625 la tonne pour les gros fragments; 0 fr. 44 pour le menu. Les frais de broyage sont de 3 fr. 25 la tonne; les frais d'extraction de 1 fr. 75 à 1 fr. 85.

En y ajoutant les frais généraux, etc., le prix de revient est:

à Ronaszek	de	15 francs	la tonne.
Szukatak		11 —	—
Szlatina.		12 —	—

En tenant compte des quantités extraites, la moyenne est de 11 fr. 75 par tonne.

Bénéfice. — L'administration des mines vend le sel à celle des finances 240 francs la tonne; c'est donc 228 francs de bénéfice par tonne; ce qui, en 1879, a donné à l'Etat 34 200 000 francs.

Bibliographie du sel en Transylvanie.

1873. Kurzer Abriss über Siebenbürgischen Salinen. (Ungar bergdirect.)

1880-81. Henriot. — Sur Marmaros. (Journal de voyage à l'Ecole des mines.)

1882. Sur l'éclairage électrique à Maros Ujvar. (*Journal des mines d'Autriche*, p. 296.)

1883. L. de Launay. — Journal de voyage manuscrit à l'Ecole des mines

SALINES DE WIELICZKA

La bande de terrain dirigée Est-Ouest qui renferme les gîtes de sel de Wieliczka et de Bochnia fait partie du versant Nord des Carpathes.

Fig. 75. — Carte géologique de la région de Wieliczka.

Le gisement de Wieliczka a été reconnu sur une longueur de 3 400 mètres ; sa largeur atteint, par places, 3 800 mètres ; les exploitations, commencées depuis plusieurs siècles, sont arrivées aujourd'hui à 280 mètres de profondeur.

Ce gisement se compose de deux parties distinctes, différentes d'allure et de constitution : la partie inférieure est formée d'un ensemble relativement régulier de couches ; la partie supérieure est une argile dans laquelle sont répandus des blocs, parfois énormes, d'un sel qu'on appelle le sel vert ou grünsalz.

Les coupes ci-jointes (fig. 76 et 77) montrent la disposition du gisement, la première dans son ensemble, la seconde un peu plus en détail.

A. Formation inférieure. — La formation inférieure présente un ensemble de couches assez bien stratifiées, dont la puissance reconnue maxima est de 150 mètres.

On y trouve de nombreux débris de fossiles marins et quelques

représentants de végétaux terrestres montrant qu'elle appartient au *Schlier*, étage méditerranéen inférieur du bassin de Vienne, dont nous avons expliqué plus haut la formation [1].

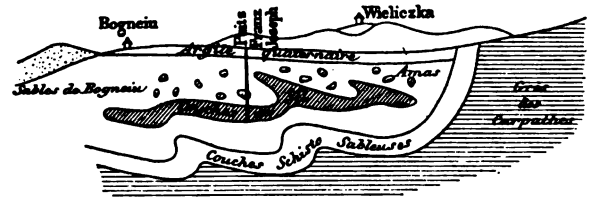


Fig. 76. — Coupe verticale d'ensemble du gîte de Wieliczka.

Au point de vue de l'exploitation, cette formation comprend trois groupes de couches exploitables atteignant jusqu'à 20 mètres d'épaisseur et qu'on cesse d'utiliser lorsque l'épaisseur descend au-dessous de $1^{m},10$.

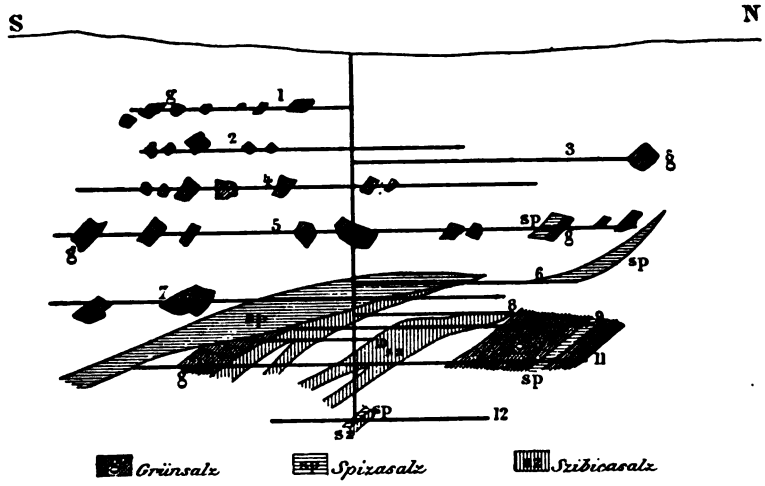


Fig. 77. — Coupe verticale théorique du gîte de Wieliczka par le puits Josefi. Echelle au $\frac{1}{5760}$.

Les couches sont inclinées de l'Est à l'Ouest ; leur pendage va, en quelques endroits, jusqu'à 45°. Dans le sens Nord-Sud, elles sont légèrement pliées en forme de voûte. Elles paraissent avoir été d'abord horizontales, puis déplacées par le soulèvement du monts Carpathes.

Les traces de phénomènes mécaniques, contemporains du

[1] Page 501.

dépôt ou postérieurs, y sont, d'ailleurs, très nombreuses. A l'époque du dépôt, on doit peut-être rattacher des veines de dessiccation

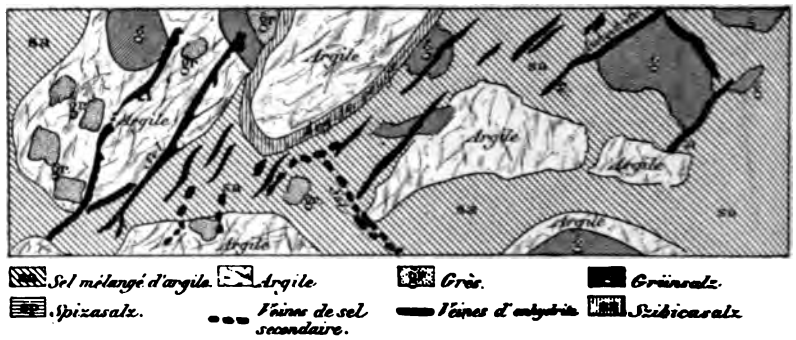


Fig. 78. — Élévation au $\frac{1}{50}$ d'une paroi du travers-bancs Carl Victor à Wieliczka.

dans l'argile, ultérieurement remplies de sel secondaire et d'anhydrite (fig. 78); mais, en outre, on voit de nombreux plissements

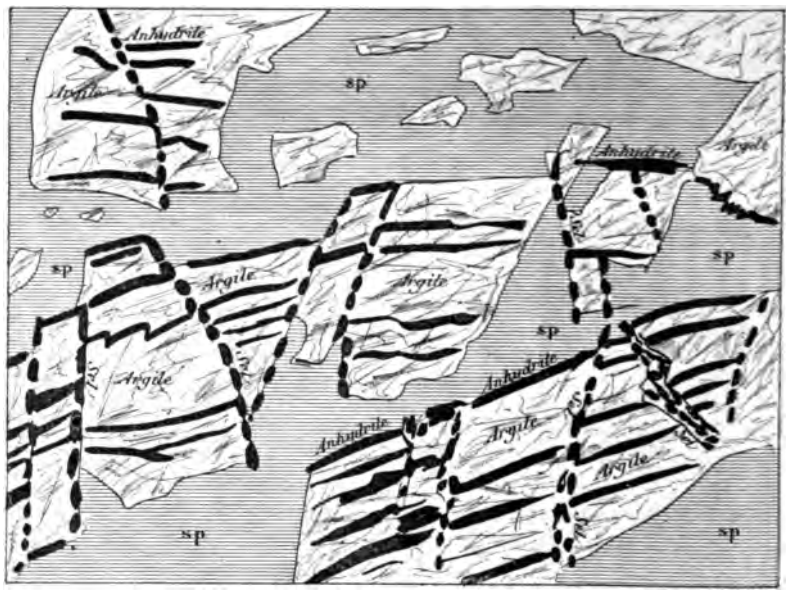


Fig. 79. — Élévation au $\frac{1}{28}$ d'une paroi du 4e horizon à Wieliczka.

et contournements locaux, des failles rejetant les bancs d'anhydrite et remplies par du sel, etc... (fig. 79). Enfin, les blocs isolés

de la formation supérieure sont vraisemblablement des lambeaux disloqués de couches d'abord continues.

Le gisement est généralement encaissé dans l'argile, rarement dans le grès.

Le sel gemme lui-même se présente sous trois formes :

1° *Szybikersalz.* — C'est du sel cristallisé à gros éléments, grisâtre, tenant 99 p. 100 de sel pur, le reste de gypse.

2° *Spizasalz.* — Formé de l'agglomération de grains fins; tient souvent beaucoup d'impuretés, particulièrement de sable.

3° *Sel vert* (grünsalz). — Cristallisé en éléments de 2 à 5 centimètres, gris verdâtre, contient beaucoup d'inclusions. Les couches de sel vert sont toujours déposées entre les couches de szybikersalz et de spizasalz. Le sel vert constitue en outre les blocs de la formation supérieure.

On exploite le szybikersalz seul pour l'usage alimentaire ; le spizasalz sert pour les industries chimiques, et on n'extrait que les parties les plus pures du sel vert.

Le sel pur forme un cinquième de la formation inférieure, l'anhydrite un vingtième; le gypse est en très faible proportion.

B. Formation supérieure. — L'ensemble de cette formation ne montre aucune trace de stratification ; le sel gemme se présente en amas irréguliers qui atteignent jusqu'à 50 mètres de puissance au milieu de couches argileuses salifères.

Cette formation est, à l'Est, constamment au-dessus de la formation précédente ; elle la dépasse à l'Ouest, où elle atteint les points les plus profonds de l'exploitation.

Bien que l'ensemble de la formation ne présente pas en elle-même de stratification, les amas ont souvent une allure schisteuse et n'ont jamais une texture zonée concentrique.. Ils présentent à peu près la même composition que les couches inférieures, mais avec un excès d'argile. On en a conclu que ces amas provenaient de la dislocation postérieure de couches nettement stratifiées, comme celles de la formation inférieure.

La formation supérieure ne contient que des fossiles marins ; les deux espèces les plus fréquentes sont le Pecten Lilli et le Pecten Denudatus. Cette formation appartient au Schlier ou est inter-

médiaire entre le Schlier et le Grund. C'est l'étage miocène le plus ancien qui affleure au Nord des Carpathes, en Silésie et en Galicie.

L'ensemble de la formation supérieure se compose des argile-sel (*sa*, fig. 78), marnes-sel, zuber et sel gemme.

L'argile-sel constitue la majeure partie du gîte; elle ne contient jamais de sable et est très salée.

Le *zuber* est de l'argile imprégnée de grains de sel de moins de 2 centigrammes, soit isolés, soit agglomérés. Le zuber tient 50 p. 100 de sel gemme.

Le *sel gemme* est beaucoup plus abondant que dans la formation inférieure.

Il est intéressant de noter que l'on a trouvé à Wieliczka 274 espèces de fossiles, soit dans le sel, soit dans les argiles salifères. Les trois quarts de ces espèces (foraminifères et gastropodes) qui ont été étudiées par M. Reuss, étaient déjà connues dans le bassin tertiaire de Vienne, spécialement au niveau du calcaire de la Leitha et du Tegel supérieur [1].

L'extraction annuelle est de 70 000 tonnes à Wieliczka; le nombre des ouvriers employés de 600.

MÉTHODES D'EXPLOITATION DANS LA RÉGION CARPATHIQUE

La méthode d'exploitation adoptée dans les salines de Hongrie, Transylvanie et Galicie, est assez remarquable pour être au moins mentionnée ici.

Au lieu d'opérer par dissolution comme en Lorraine, on creuse, dans l'intérieur de la masse de sel, d'énormes chambres où l'on dépile le sel gemme par blocs, comme on pourrait le faire pour un minerai quelconque.

Jusqu'en 1877, la forme adoptée pour ces chambres était celle des cloches ou des bouteilles (fig. 80).

On descendait à 10 ou 12 mètres au-dessous du toit du sel, et

[1] Reuss. Ac. des Sc. de Vienne, t. LVI; cf. *Ann. d. M.*, 6e, t. XIV, p. 530.

on élargissait progressivement les cloches par sections elliptiques ou circulaires jusqu'à un diamètre de 57 à 76 mètres, et, à partir de ce moment, on maintenait les parois verticales, ou peu inclinées.

On continuait à approfondir ces chambres jusqu'à ce qu'une inondation survînt, ou que l'apparition de fentes menaçât la sécu-

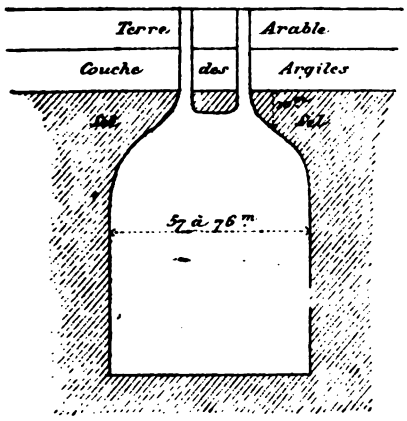


Fig. 80. — Coupe verticale d'une ancienne chambre d'exploitation du sel en Galicie.

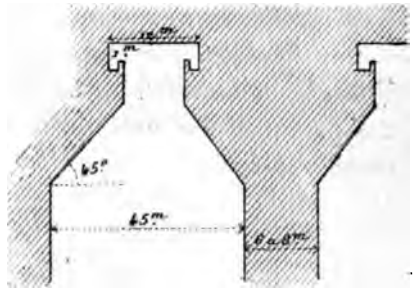


Fig. 81. — Coupe verticale d'une chambre d'exploitation du sel à Maros-Ujvar.

rité des ouvriers. Certaines de ces excavations ont duré de 250 à 350 ans.

On débitait le sel autrefois : soit en purs morceaux (*sales currules*) pesant de 9 à 18 kilogrammes suivant les régions, soit en menus fragments (*sales equiles*).

Aujourd'hui l'on préfère, à Maros-Ujvar, Marmaros, etc., le système par chambres rectangulaires représenté sur la figure 81 :

On commence par tracer des galeries de 2 mètres de hauteur et de 11 à 15 mètres de largeur, auxquelles on donne une longueur de 120 à 200 mètres, puis on creuse, à droite et à gauche, des galeries transversales dont les axes sont distants de 52 à 55 mètres, et on approfondit en élargissant la galerie et en taillant les parois suivant une inclinaison de 45°.

Quand les chambres ont ainsi de 42 à 45 mètres de large, on mène les parois verticalement. Les piliers séparant deux chambres adjacentes, laissés pour soutenir la surface, n'ont que 6 à 8 mètres d'épaisseur.

On enlève le sel par tranches horizontales, de façon que les divers points du sol de la chambre soient toujours au même niveau.

Pour cela, on détache, au moyen d'un système de coins et de marteaux en bois, des blocs de sel de 23 à 25 centimètres de hauteur, de 1 mètre de largeur et de 2 mètres à 2m,50 de longueur, qu'on débite ensuite en fragments de 43 à 50 kilogrammes.

On ne paie l'ouvrier que sur les fragments de ce poids (0 fr. 11 l'un, et 0 fr. 04 pour les morceaux de 30 à 43 kilogrammes) et on ne lui donne rien pour les morceaux moindres.

A *Wieliczka*, le système actuellement adopté consiste dans un simple dépilage par tranches successives de 2m,20 de haut avec piliers abandonnés et en ne prenant qu'une tranche sur deux. La mine étant située sous la ville, on est assujetti à des précautions toutes spéciales.

Bibliographie.

1850. Unger. — Die Pflanzenreste von *Wieliczka*. (*Denksch. der K.A.K.*)

1867. Reuss. — Die fossile fauna von *Wieliczka*. (Sitzungsber *d. K. A. K.*, t. LV.)

1877. Grad. — Mines de Wieliczka. (*Soc. d'hist. nat. de Colmar*, p. 259.)

1884. Julian Niedwiedzki. — Uber die Salzformation von *Wieliczka* und *Bochnia* (Lemberg, 1884); avec plusieurs annexes.

1887. C. M. Paul. — Zur *Wieliczka* Frage. (*Jahrbuch der KK. geolog. Reichsanstalt*, t. XXXVII, p. 109. Vienne, 1886.)

1888. Davies, p. 85.

1892. L. De Launay. Notes de voyage inédites.

En *Sicile*, le sel est également associé, dans le miocène, au gypse et au soufre [1].

SEL DE LA PERSE

La Perse [2] renferme d'importants gisements de sel tertiaires

[1] Voir p. 268 et p. 274. — 1846. De Cussy. Sur le sel marin en Sicile. (*B. S. G.*, 2e, t. IV, p. 255.)

1853. Giordino. Sur le sel de Regalbuto près Girgenti. (*B. S. G.* 2e t. X, p. 194.)

1853. Villanova. Sur l'âge du gisement de sel en Sicile. (*B. S. G.*, 2e, t. XL, p. 82.)

[2] 1851. Nicaise. Sur les masses de sel de l'île d'Ormuz (golfe Persique). (*B. S. G.*, 2e, t. VIII, p. 275.)

1888. (*Ann. d. M.*, 8e, p. 568.)

qu'il faut peut-être rattacher comme ceux des Carpathes à la période du Schlier.

Au Nord-Ouest du pays, sur le versant Sud de l'Albur, près des mines de turquoises de Nichapour, il existe une mine de sel à 9ᵏᵐ,6 à l'Est de Maden, près du petit village de Karakhauh ; la couche, située dans le terrain miocène, a, en certains endroits, une puissance de 130 mètres ; le sel y est, à l'occasion, très blanc, très limpide ; mais, si l'on considère l'ensemble des mines, il est plutôt gris et parfois noir. L'exploitation a lieu par la méthode des chambres ; en moyenne, l'extraction annuelle de toutes les mines de sel du district s'élève à 750 tonnes.

D'autres mines sont situées près du débouché du golfe Persique, presque dans l'océan Indien. Le sel y est intercalé dans des terrains rouges variant du grès à la marne.

Les principaux centres sont l'île de Kishm, Hormuz, Larak, Pohal, Jabel, Bostana et Hameran. Le sel se présente en boules rouges ou blanches. Les qualités inférieures rouges sont employées sur place pour saler des poissons ; les qualités plus fines sont portées à Muscat d'où on les exporte à Maurice, Zanzibar, Batavia et au Bengale. Ces gisements, situés dans le tertiaire, sont exploités par de vastes excavations.

SEL DES RÉGIONS DÉSERTIQUES

Après avoir passé en revue les formations de sel des époques géologiques, nous arrivons aux gîtes de sels formés de nos jours dans les régions désertiques, où les précipitations d'eau atmosphérique sont insuffisantes pour élever le niveau des lacs, de manière à leur assurer une communication avec la mer. Il existe ainsi, en un certain nombre de régions de la terre, des dépressions où s'accumulent les principes salins et quelques-unes sont industriellement exploitées.

Leur formation peut se rattacher à trois causes distinctes :

1° On peut avoir affaire aux résidus d'une mer récente, comme celle qui, à l'époque pliocène, remplissait le bassin aralo-caspien ;

ou, plus tard encore, le Sud de la Californie; nous nous trouvons alors ramenés en quelque sorte à notre point de départ dans cette description : l'industrie des marais salants, puisque ceux-ci ne sont que la reproduction artificielle de ce qui se passe là naturellement.

2° Le sel peut provenir du lessivage de terrains géologiques où il avait été primitivement accumulé par un des phénomènes que nous avons étudiés plus haut; c'est le cas des salines d'Arren en Algérie.

3° Le sel peut résulter de la simple concentration des eaux douces privées d'écoulement; car celles-ci, quelle que soit d'ailleurs la source dont elles le tirent, en contiennent toujours une certaine proportion; c'est, sans doute, le cas des lacs salés de l'Ouest américain, et particulièrement du Grand Lac Salé de l'Utah.

1° ZONE ARALO-CASPIENNE

ÉVAPORATION D'UNE ANCIENNE MER

C'est à la fin de la seconde phase méditerranéenne comprenant le miocène helvétien (faluns de la Touraine, marnes de Cabrières dans la vallée du Rhône, leitha-kalk du bassin de Vienne, schistes de Tortone, etc.) et, par suite, au début du pliocène, que la mer sarmatique a couvert la Russie du Sud, la mer Noire, la mer Caspienne et l'Aral[1], tout en formant, à l'Est, deux branches bien distinctes séparées par le plateau de l'Ust-Urt. Cette mer sarmatique n'avait pas encore les coquilles bariolées, etc., indices d'un climat chaud, qu'on rencontre plus tard dans la Méditerranée. Quelques espèces tout à fait spéciales et autochtones, qui depuis se sont éteintes, y vivaient. Les dépôts en ont été particulièrement uniformes et pauvres en fossiles.

Postérieurement à ces couches sarmatiques, la mer a disparu de ces régions où se sont formés quelques dépôts lacustres de l'étage pontin à congéries, et son résidu est allé s'accumuler dans des dépressions comme l'Aral ou la Caspienne entourées de terrains

[1] Antlitz der Erde, p. 414.

eux-mêmes pénétrés de sel. C'est dans la Caspienne, en particulier [1], que se sont réunies les anciennes eaux saumâtres du Pont-Euxin, auxquelles la mer Egée nouvellement formée enlevait leur affluent principal, le Danube.

Dans ces régions, la concentration du sel qui imprègne les terrains se fait de nos jours encore progressivement, sous l'action des eaux de pluie, en de petits lacs ou *limanes* situés dans les steppes [2]. On trouve de ces limanes, non seulement au voisinage de la mer Caspienne, mais aussi près de la mer d'Azov, lac d'où provient à peu près la moitié du sel produit par la Russie.

Tantôt, la quantité d'eau contenue dans les bas-fonds est si grande qu'elle ne s'évapore pas complètement l'été. On a alors un petit lac permanent d'eau salée, au milieu d'une boue salée qu'entoure elle-même une argile rouge desséchée à crevasses tapissées de sel, avec une frange sur laquelle poussent quelques herbes dites Salsolas ; tantôt il y a évaporation complète. Dans cette même région, il existe au voisinage, soit de la mer Noire, soit de la mer d'Azov, des étangs salés ou au moins alimentés par les eaux des mers, que nous décrirons en même temps, quoique le phénomène qui s'y produit soit d'un ordre un peu distinct.

Les groupes salifères principaux sont :

A. Les lacs d'Astrakhan, des deux côtés du Volga, au nombre de 2 000, parmi lesquels on peut citer ceux d'Eltone et de Baskountchak ;

B. Les lacs de la mer d'Azov.

C. Les lacs de la Crimée.

D. Les lacs de la mer Noire.

E. Les lacs du Manitsch.

A. Lacs d'Astrakhan. — Le lac d'*Eltone*, situé dans le district de Tsarev, a 23 kilomètres de long sur 10 de large et est peu profond ; il reçoit plusieurs petites rivières, mais aucune n'en découle. Le fond du lac est formé de couches de sel que l'on exploite depuis plus de cent ans. Le travail d'extraction se fait, non dans les

[1] Suess, p. 438.

[2] Voir p. 452.

couches supérieures et nouvellement précipitées qui sont amère mais dans les couches inférieures. La production, qui s'est élev à 165 000 tonnes, n'est plus que de 3 000 tonnes, par suite développement de la même industrie, au lac de Baskountch placé dans des conditions plus avantageuses.

Le lac de *Baskountchak*, dans le district de Tcherny-lac, 18 kilomètres de long et 11 de large. Il est bordé de terrains te tiaires de l'étage Caspien, sauf au Sud, où le mont Boglo est perm triasique. En hiver et au printemps, il est couvert d'eau : en é le sel s'évapore, et le fond du lac apparaît couvert d'une croûte sel d'une épaisseur considérable. Cette croûte se fend et le sel dépose le long des parois des crevasses. Dans les endroits expl tés, de nouvelles couches de sel commencent à se former l'été s vant, et, au bout de quatre ans, elles atteignent $0^{m},70$ d'épaisseu

La croûte de sel est composée de deux couches : la couche sup rieure jaunâtre et contenant des lits de vase ; l'inférieure form de sel gris bleuâtre.

L'exploitation monte à 85 000 tonnes.

D'autres lacs du même gouvernement produisent, en outre, pl de 40 000 tonnes.

B. Lacs de la mer d'Azov. — Les lacs situés sur la rive Sud-E de la mer d'*Azov* portent les noms de Jasensk, Okhtarsk, Otcho evsk et Tamane : le premier est le plus important. Ces lacs trouvent dans le voisinage de la mer, et quelques-uns comm niquent même avec elle périodiquement, ce qui fait que la co centration du sel est soumise à de nombreuses éventualités.

C. Lacs de Crimée. — Les lacs salés et marais salants de *Crimée* se divisent en 5 groupes : Guenitchesk, Pérékop, Eup torie, Théodosie et Kertch. La concentration naturelle du sel da ces lacs dépend beaucoup des influences atmosphériques et pr duit une croûte appelée *rappa*, souvent chargée de sels amers aussi, dans cette région, a-t-on surtout développé l'industrie d *marais salants;* la Crimée produit 94 000 tonnes de sel (1876).

D. Lacs de la mer Noire. — Les lacs salés de la mer Noire sont

les lacs de Kissbourn entre le Dnieper et la mer ; ceux de Kouialnik et de Hadjibei entre le Bug, et le Dniester. La lagune de Kouialnik n'est séparée de la mer que par une dune de sable de 1 500 mètres. L'extraction du sel monte à 46 000 tonnes.

E. Lacs du Manitsch. — Les lacs salés du Manitsch forment deux groupes ; celui de Grondskoe au Nord-Est du gouvernement de Stavropol ; celui de Staromanytch à l'Est du gouvernement d'Astrakhan.

Bibliographie.

1855. DE VALLAT. — Sur l'extraction du sulfate de soude des lacs du gouvernement d'Astrakhan. (*Ann. d. M.*, 5e, t. X, p. 617.)
1878. Richesses minérales de la Russie d'Europe.
1888. GRÜNER. — Industrie du sel dans le Donetz.

2° SALINES D'ARREN (ALGÉRIE) PRÈS ORAN[1]

DISSOLUTION ET CONCENTRATION DU SEL CONTENU DANS DES TERRAINS GÉOLOGIQUES

Ces salines ne sont pas autre chose qu'un lac de 1 500 hectares à peu près, situé à 12 kilomètres de la côte ; formé par les pluies d'hiver, en été il est presque complètement desséché.

Le sel présente alors une croûte de $0^m,30$ à $0^m,40$ que l'on ramasse à la pelle.

Ce sel résulte du dessalement des terrains environnants, formés de collines sableuses, par les eaux.

La couche supérieure est constituée par un *sel gris* de $0^m,05$ à $0^m,10$ d'épaisseur. La couche inférieure se compose de *sel blanc* très pur.

La production, en 1885, a été de 20 000 tonnes, sur lesquelles 8 000 tonnes de sel blanc. En 1886, on a extrait 30 000 tonnes.

Le prix de revient est, paraît-il, de 4 francs par tonne, et le sel se vend 16 francs le sel blanc, 11 à 12 francs le sel gris pour pêcheurs.

La saline est reliée au port d'Arren par un chemin de fer de 20 kilomètres.

[1] Voir, plus haut, sur le sel en Algérie, p. 496.

3° LACS SALÉS DE L'OUEST AMÉRICAIN (CONCENTRATION D'EAUX DOUCES)

L'Ouest de l'Amérique renferme une série de lacs salés qui ont été étudiés et décrits par Poszepny.

Cette région Ouest forme, entre les Montagnes Rocheuses et la Sierra-Névada, un plateau dont les points les plus bas sont encore à 1 200 mètres au-dessus de la mer. L'Ouest de l'Utah, le Névada le Sud-Ouest de l'Orégon et le Nord-Est de la Californie présentent au milieu de ce plateau, une région désertique, sans communication avec la mer, à peu près aussi grande que la France tout entière.

Dans l'Utah, par exemple, on a affaire à une série de vallées de 20 à 30 kilomètres de large, plates et séparées par des chaînes parallèles atteignant 3 000 mètres. Les chaînes sont en terrains paléozoïques percés de roches éruptives; les vallées, en dépôts horizontaux très récents; le jurassique, le crétacé et le tertiaire ancien, si développés au delà des monts Wahsatch qui limitent cette région, manquent dans l'intérieur. Le peu d'eau qui tombe forme des ruisseaux qui reviennent fréquemment sur leurs pas en passant d'une vallée à l'autre et ont ainsi, souvent presque sur place, un long parcours. Il semble qu'il y ait eu là autrefois plusieurs cours d'eau parallèles dont la communication avec la mer a été très récemment coupée.

La région comprend quatre lacs : deux d'eau douce, l'Utah et le lac Bear; deux salés, le Sevier et le Grand-Lac; ce dernier occupe la dépression la plus profonde (niveau à 1 283 mètres). Les lignes de rivage de ce lac salé, exactement relevées, ont été autrefois à 295 mètres plus haut, qu'elles ne sont aujourd'hui.

On peut admettre qu'il y a eu là d'abord un régime de vallées alpestres communiquant avec la mer; puis obstruction de ces débouchés, constitution d'une grande lagune où les fleuves venaient se perdre, et accumulation de dépôts dans les vallées; après quoi, probablement à l'époque glaciaire, les précipitations atmosphériques devenant plus abondantes, le lac, de 300 mètres

plus élevé qu'aujourd'hui, aurait retrouvé un écoulement vers la mer. Mais depuis, le climat devenant sec, les eaux se sont graduellement évaporées.

Les analyses des lacs salés sont les suivantes :

	GRAND LAC SALÉ		LAC SEVIER	
	Eau	Sel	Eau	Sel
NaCl	20,20	90,65	6,23	72,11
MgCl	0.25	1,11	1,03	»
CaCl	tr.	tr.	tr.	tr.
$NaOSO^3$	1,83	8,24	1,34	15,51
$CaOSO^3$	»	»	0,04	0,46
	22,28	100,00	8,64	100,00

Si l'on se demande d'où est venu le sel de ces lacs, on ne peut admettre, dans l'Utah, une communication ancienne avec la mer (comme dans la région aralo-caspienne) : d'abord à cause de la différence d'altitude trop grande, ensuite à cause du manque de fossiles marins dans les couches (pour le Sud de la Californie, au contraire, cette explication serait admissible). Les formations marines cessent dans cette région avec le commencement de l'éocène et, plus le temps s'écoule ensuite, plus les dépôts sont nettement d'eau douce. Il n'existe de miocène marin que dans le centre de la Californie, et de postpliocène marin que sur la côte même de l'Océan.

D'autre part, on ne semble pas pouvoir, dans le Nevada et l'Utah, invoquer le lessivage d'amas de sel préexistants; le seul terrain salifère qu'on y pourrait trouver, le trias, est très restreint et, en général, composé de calcaires de l'âge des calcaires d'Hallstadt. Le sel gemme n'existe associé avec des grès rouges que hors du rayon de la région désertique.

Par conséquent, nous avons affaire là probablement à un dépôt salin, résultant de la simple concentration des eaux douces.

L'analyse d'une eau douce quelconque renferme, en effet, toujours une certaine proportion de principes salins. C'est ainsi que Bischof a montré qu'un mètre cube d'eau prise dans un fleuve d'Europe renfermait de 100 à 300 grammes de principes solubles, dont 1 à 30 p. 100 de sel. Le Rio-Grande, à New-Mexico, contient, d'après Lœw, 157 grammes dont 28 p. 100 de sel; le Jourdain, en Palestine, en renferme jusqu'à 1052 grammes dont 74 p. 100 de sel.

On comprend, dès lors, très bien que ces eaux, indéfiniment accumulées dans une dépression des terrains, finissent par y déposer du sel.

Poszepny a été plus loin et a cherché à se rendre compte d'où provenait ce sel des eaux douces. Pour lui, il a été emprunté à la mer par la dispersion de l'écume des vagues et mécaniquement transporté par le vent dans l'air. Lorsque les cours d'eau ont un écoulement, ce sel précipité retourne tout naturellement à la mer; dans la région du Lac Salé, il s'est au contraire, accumulé; et la même explication lui paraît admissible pour le lac Urmiah en Perse, situé également à 1 300 mètres d'altitude.

Le Grand Lac Salé peut renfermer 4 000 000 000 de tonnes de sel; on peut évaluer à 700 000 tonnes de sel la quantité apportée par les cours d'eau dans une année sur l'espace correspondant: il n'aurait donc fallu guère plus de 6 000 ans pour constituer toute cette masse de sel.

Les lacs salés du Nevada sont surtout exploités pour obtenir le sel nécessaire aux procédés de chloruration des minerais argentifères.

Bibliographie.

1865. Bobierre. — Teneur en sel des eaux de pluie de Nancy. (C. R. t. LVIII, p. 755 ; *Bull. Soc. Chim.*, t. LIV, p. 467.)

1864. Virlet d'Aoust. — Sur les salines de certains lacs du Mexique. (*B. S. G.*, 2e, t. XXII, p. 464.)

1877. Posnepzy. — Zur genesis der Salz Ablagerungen, besonders jener im nord amerikanischen Westen. (*Ak. d. Wissensc.*, t. LXXVI.)

Wheler. — Report upon explorations West of the. 10e meridian, t. III, p. 88.)

Paikard. — Insects inhabiting great Saltlake. (*Sixth An. Rep. of the U. S. geol. Survey*, p. 74.)

SULFATE DE SOUDE. — GLAUBÉRITE

Le Chili, le Pérou et le Colorado fournissent de grandes quantités de *sulfate de soude*.

Ces gisements se présentent à peu près dans les mêmes condi-

tions que ceux de chlorures et de carbonates, c'est-à-dire en efflorescences, sur les bords de lacs salés.

On peut admettre que le sulfate de soude a été, dans ce cas, produit par la double décomposition du sulfate de magnésie et du chlorure de sodium mis en présence.

La *Glaubérite*[1] (ou sulfate double de soude et de chaux) forme, en Espagne, des gisements intéressants dont le principal est celui de *Cien-Pozuelos* (cent puits), près d'Aranjuez[1].

Elle s'y présente en couche régulière et puissante dans le miocène. Sur les flancs d'une vallée, on voit affleurer, au milieu de strates à peu près horizontales, un banc de glaubérite de 10 à 12 mètres surmonté d'argiles versicolores rouges et grises encore imprégnées de glaubérite, au-dessus desquelles viennent un calcaire d'eau douce renfermant quelques bytinies et des alluvions.

L'analyse d'un échantillon a donné :

Argile.	Peroxyde de fer.	Chaux.	Magnésie.	Soude.	Potasse.	Acide sulfurique.	Eau et matières organiques.	Chlorures.
12	2	18	0,30	18,60	«	47	2	traces.

Le gisement est morcelé en un grand nombre de concessions dont les plus favorablement situées, c'est-à-dire celles où le banc de glaubérite est découvert par tranches dans quelque vallée, sont seules mises en valeur.

On exploite par piliers abandonnés, en laissant : d'une part, au toit $1^{m},50$ à 2 mètres de sel, pour être mieux garanti contre les éboulements ; d'autre part, à la base, 1 mètre à $1^{m},50$, de manière à pouvoir installer les voies ferrées plus commodément que sur l'argile qui forme le véritable mur. Les parties de sel ainsi perdues sont, d'ailleurs d'une qualité inférieure, impures et mélangées d'argile. Les piliers abandonnés, grâce à l'extrême solidité de la masse, forment à peine un quart du volume total. Cela tient à ce que, lorsqu'une fissure se fait dans la glaubérite, l'eau, qui y suinte aussitôt, dissout et entraîne du sel qui, en s'évaporant, rebouche rapidement la crevasse.

Le *prix de revient* est très faible (environ 7 francs la tonne à

[1] Coll. *Ecole des Mines*, 1673.

pied d'œuvre) à cause de l'horizontalité du gîte et de sa situation à flanc de coteau.

Le *traitement* se fait jusqu'ici tout entier sur place et de la manière la plus simple. On creuse, dans les argiles du mur, de grandes excavations rectangulaires de 1 mètre de profondeur garnies d'un feutrage en nattes d'alpha, reposant sur des briques à claire-voie; on les remplit de sel jusqu'au bord et on verse de l'eau. Celle-ci, en agissant sur la glaubérite, dissout d'abord le sulfate de soude

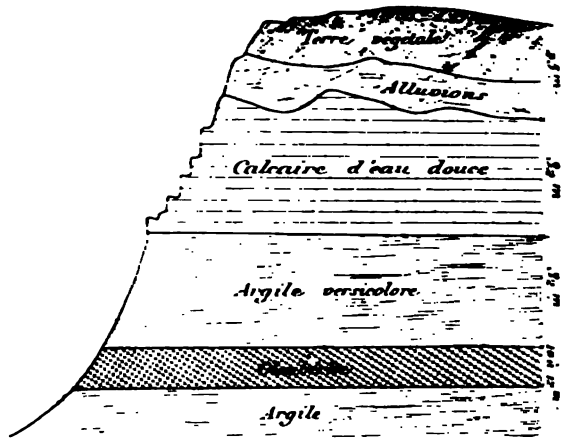


Fig. 82. — Coupe verticale du gîte de glaubérite de Cien-Pozuelos, près Aranjuez (Espagne).

avant de s'attaquer au sulfate de chaux; on lui ménage donc un canal d'écoulement, de manière à ce que l'opération soit suffisamment rapide. Les matières dans la cuve s'affaissent peu à peu et on recharge deux ou trois fois avant de vider le résidu.

Quant à la dissolution de sulfate de soude, elle est amenée dans des cristallisoirs à fond plat de 4 mètres de côté, bitumés avec le plus grand soin. Sous l'influence des nuits très froides et très sèches de ce plateau, l'évaporation se fait bien. La seule précaution à prendre est, pour éviter la formation de trop grands cristaux, de râbler de temps en temps.

Le sel ainsi obtenu, $NaOSO^3 + 12\,HO$ est très déliquescent, en sorte qu'il reste encore à le sécher. On a essayé de faire cette opération, ainsi que l'évaporation, en se servant de la chaleur; le prix trop élevé du combustible y a fait renoncer. Aussi se con-

tente-t-on d'étendre le sel par couches très minces sur des aires bituminées et de racler les tas fréquemment. Quand le vent est très sec, au bout de quelques semaines, le sel se déshydrate en devenant opaque. Mais l'opération est naturellement à la merci de la pluie, fréquente sur le plateau de Madrid : c'est ce qui avait fait tenter un moment des essais de chauffage.

On a même été plus loin, et on a voulu installer sur place une fabrique de soude; mais on s'est heurté à des difficultés techniques, on a manqué de débouchés pour les produits secondaires, et on a dû y renoncer.

Par contre, on a proposé de transporter le sel brut en wagons simplement bâchés jusqu'en France.

Au point de vue économique, on peut, d'après des notes de M. Fuchs, établir de la manière suivante le prix de revient du produit marchand :

La glaubérite contient 45 p. 100 de sulfate de soude anhydre et donne environ 100 p. 100 de sulfate hydraté.

L'extraction étant de 7 francs, les frais de fabrication à Cien-Pozuelos de 34 francs, le sulfate de soude revient sur place à 41 francs.

On utilise pour les usages locaux, en particulier pour la fabrication des savons à Séville, à peu près toute la production qui est de 10 000 tonnes. L'exportation serait assez difficile; en effet, pour transporter le sulfate à Rouen ou à Londres, on doit compter 800 kilomètres de chemin de fer jusqu'à Santander, soit au minimum 50 francs, plus 12 francs de frêt. La tonne reviendrait donc à Rouen, au minimum à 100 francs, c'est-à-dire plus cher que le sulfate du procédé Leblanc. Il est vrai que le sel provenant de la glaubérite a, sur celui-ci, en particulier pour son usage principal qui est le dégraissage des laines, un avantage notable, celui de n'être pas acide. Mais la plus-value (d'environ 8 à 10 francs) ne paraît pas suffisante pour permettre la concurrence.

En dehors du gisement de Cien-Pozuelos, il existe encore auprès de Burgos, à *Andosilla* (vallée de l'Ebre) et à *Alcanadre*, localité voisine, des mines de *glaubérite* assez pure et de *sulfate de soude pur*. Une société a essayé d'en tirer parti il y a une vingtaine

d'années en créant une usine de carbonate à *Lodosa*. Actuellement le chemin de fer les met à 200 kilomètres de Bilbao [1].

CARBONATE DE SOUDE

Le sesqui-carbonate de soude, ou *Natron*, 2 NaO HO. 3 CO^2 + 3 HO, se présente dans les lacs de certaines contrées salifères Hongrie, Egypte, Perse, Thibet, Inde, Nevada, Colombie, Venezuela, République Argentine, comme un produit d'évaporation qui se dépose en efflorescences mélangées de sel marin et de sulfate de soude. Autrefois, c'était de ce produit qu'on extrayai une grande partie de la soude employée dans le commerce. Sa formation dans ces petits lacs a été expliquée par la réaction du sel marin sur le carbonate calcaire qui constitue leur sol

En *Égypte*, dans le lieu où l'on exploite le carbonate de soude, les petites sources naturelles qui dissolvent les efflorescences se concentrent dans neuf lacs où, par l'évaporation de l'été, elles déposent des couches très dures de natron qu'on est obligé de briser à coups de barres de fer.

Certains gisements, comme celui du *Szekboden*, *en Hongrie* contenu dans les trachytes, paraissent dus à une autre cause. On a admis que l'eau de pluie, avec l'acide carbonique de l'air, avait pu agir sur les feldspaths sodiques de certaines roches trachytiques et que cette eau, contenant le carbonate en dissolution s'était ensuite peu à peu concentrée dans des roches poreuses.

[1] 1873. A. DE AREITIO y LARINAYA. Cienpozuelita : nuovo sulfato de cal y sod encontrado en la mina *Consuelo* (Cienpozuelos). (*Ann. de la Soc. espan. de hisl. nat.* t. II, p. 393. Madrid, 1873.)

CALCIUM

Ca ; Eq = 20. P.at = 40

Les sels de chaux industriellement utilisés sont :

La *chaux caustique :* fabrication du mortier, fait de chaux éteinte délayée dans l'eau et mélangée de sable ; gonflage des peaux en tannerie; défécation des jus sucrés dans la fabrication du sucre ; précipitation de la potasse, de la soude et de l'ammoniaque dans les laboratoires. On l'obtient en partant du carbonate.

Chlorure de calcium (déshydratant), obtenu en partant du carbonate.

Hypochlorite de chaux (chlorure de chaux) : blanchiment des toiles, de la pâte de papier, fabrication des toiles peintes, etc... (étudié au chapitre du *Chlore* [1]).

Fluorure de calcium (fluorine), (étudié au chapitre du *Fluor* [2]).

Sulfate de chaux (plâtre et albâtre) ; moulages, enduits, stucs, etc. (Voir plus loin page 556.)

Phosphate de chaux (étudié au chapitre du *Phosphore* [3]).

Carbonate de chaux : pierre de construction, pierre à chaux, ciment, blanc d'Espagne, craie, pierre lithographique, marbre, etc. (Voir page suivante.)

En dehors du phosphate de chaux et de la fluorine déjà étudiés, les sels de chaux qu'on rencontre et qu'on exploite dans la nature sont le carbonate et le sulfate dont il nous reste à décrire les gisements.

[1] Page 306.
[2] Page 308.
[3] Page 310.

CARBONATE DE CHAUX

1° PIERRES DE CONSTRUCTION[1]

L'étude des pierres de construction, dans sa généralité, formerait un sujet tellement vaste et sortirait tellement de l'objet spécial de cet ouvrage que nous nous bornerons à quelques indications sur les gisements français, résumant brièvement, à propos des calcaires, ce qui est relatif aux matériaux de construction d'autre nature.

Les pierres de construction employées dans une région sont généralement en relation directe avec la constitution géologique de ses environs, la pierre à bâtir étant une substance relativement trop commune pour supporter, à moins de qualités très spéciales des frais de transport importants.

Dans les pays de roches anciennes, on choisira de préférence le granite gris ou la granulite (Limousin, Bretagne, Vosges, etc.). Sur place, le mètre cube de granite brut vaut de 30 à 80 francs; la taille des parties planes coûte 25 francs le mètre carré; à Paris, le granite pour monuments revient de 150 à 250 francs.

La granulite massive donne également souvent une belle taille et n'a pas, comme le porphyre par exemple, une dureté exagérée. Le gneiss un peu résistant a l'avantage de fournir facilement des surfaces planes parallèles, mais est difficile à appareiller convenablement.

Dans les pays volcaniques, la lave est très appréciée malgré sa vilaine couleur; les andésites de Volvic, près Clermont-Ferrand sont exportées à de grandes distances.

Les terrains paléozoïques sont généralement trop schisteux dans notre pays et surtout trop disloqués, pour donner, à l'exception de quelques marbres ou de certains grès ou quartzites, de bonne pierre de taille. En fait de marbres, on exploite les calcaires de Givet; le rouge de Flandre, le marbre de Rance dans le famen-

[1] Coll. *Ecole des Mines*, 1885.

nien ; les calcaires dévoniens et carbonifères du Boulonnais [1], etc. ; en fait de grès et quartzites, ceux du Roule près Cherbourg, etc.

Le houiller, le permien et le trias alimentent souvent d'importantes carrières de grès à ciment siliceux, gris ou jaune dans le houiller, rouge dans le permien, bariolé dans le trias (grès des Vosges à Strasbourg, etc.). Le grès houiller, utilisé dans la Loire et en Saône-et-Loire, vaut de 35 à 40 francs sur la carrière ; il résiste à des charges de 200 à 250 kilogrammes par centimètre carré ; le grès des Vosges qui résiste à 300 et à 350 vaut de 15 à 40 francs.

Mais la grande source de pierre de taille en France, ce sont les calcaires jurassiques, crétacés ou tertiaires, qui entrent certainement pour les neuf dixièmes dans les constructions. Dans le bassin de Paris, en particulier, où ces trois groupes de terrains forment trois zones successives, on trouve, sur chacune d'elles, une série de carrières importantes dont nous rappellerons les principales et, comme on l'a remarqué depuis longtemps, la situation de Paris s'est trouvée, dès l'origine, géologiquement désignée pour recevoir une grande agglomération : par sa position d'abord au centre du bassin, au confluent de toutes les voies débouchant des divers points de la France ; puis par l'excellence des matériaux, pierre et plâtre qui s'y trouvaient en abondance extrême et qu'il a suffi de sortir du sous-sol pour construire les maisons au-dessus du sol.

Les calcaires employés en construction ne sont pas seulement composés de carbonate de chaux, ils contiennent, en outre, de l'argile, de la silice, de l'oxyde de fer, du carbonate de magnésie, etc., en proportions extrêmement variables.

Leur dureté, leur poids, leur résistance à l'écrasement, etc., varient également beaucoup en conséquence.

Le poids au mètre cube, pour les pierres de taille, oscille entre 1 400 et 2 800 kilogrammes.

La résistance à l'écrasement est à peu près proportionnelle à la densité : une pierre dure, sciée à l'eau et au grès, qui pèse de 2 100 à 2 800 kilogrammes, porte sans s'écraser jusqu'à 1 200 kilogrammes au centimètre carré, tandis qu'une pierre tendre, qui

[1] Voir plus loin le chapitre spécial relatif aux *Marbres*, page 543.

se débite à la scie à dents, pèse de 1 400 à 2 200 kilogrammes e résiste à des efforts de 20 à 220 kilogrammes.

Les *qualités* des pierres calcaires sont, en présentant une densit et une résistance suffisantes, de se laisser facilement travailler. I faut aussi qu'on puisse obtenir des blocs de grandes dimension

On distingue les pierres dures et tendres; les pierres de liai et les roches; les pierres sèches et gélives; les pierres de libag et les pierres nettes ou franches.

La *pierre dure* ne se laisse scier qu'avec une scie sans dents, e interposant du grain fin entre la scie et la pierre; la *pierre tendr* se laisse scier par la scie à dents. La pierre de *liais* a un grai fin, homogène, et est exempte de corps étrangers; la *roche*, au con traire, contient des grains de mica, de quartz, etc., qui en dimi nuent la valeur.

Les *pierres gélives* sont celles qui retiennent en elles une cer taine quantité d'humidité et, par suite, se fendent à la gelée.

Les *pierres de libage* sont celles d'une vilaine couleur ou à grai grossier qu'on emploie pour les fondations et les caves; les *pierre nettes* ou *franches* sont, au contraire, celles qu'on met en évidence

L'*essai d'une pierre* comprend l'appréciation de sa dureté à l scie, la mesure de sa résistance en comprimant un cube d dimensions déterminées à la presse hydraulique, l'examen de s gélivité en la soumettant pendant une demi-heure environ à un dissolution bouillante et saturée de sulfate de soude, puis retiran pour laisser cristalliser et replongeant de nouveau dans la liqueu pendant cinq ou six jours.

On admet que l'exploitation des carrières à ciel ouvert occup en France environ 90 000 hommes; celle des carrières souter raines, 22 000.

Citons brièvement par ordre d'âge géologique, du jurassique a tertiaire, les principales pierres usitées en France.

L'*hettangien* comprend les calcaires dits foie de veau en Bour gogne (au milieu desquels se trouve le minerai de fer du Creusot) et le calcaire pavé de Saint-Amand.

Dans le *lias* proprement dit, on exploite le lias inférieur ou sinémurien (calcaire à gryphées arquées), sous le nom de pierre noire des carriers.

Le *toarcien*, qui donne la pierre à ciment de Vassy, près d'Avallon, et celle de Thisy, fournit les calcaires de Thouars dans le Poitou, etc.

Le *bajocien* donne la pierre de taille jaune de Dom-le-Mesnil, près Sedan; les moellons de Connage; la pierre de taille de Chémery et de Boulzicourt dans l'Ardennes; la pierre de la Grenouille (près du Guétin, Nièvre); les grès à pavés de Niort; le beau calcaire blanc de Chauvigny (Vienne).

Dans le *bathonien*, nous rencontrons la belle pierre à grain fin de *Sampans*, près Dôle (Jura), qui a servi dans la construction du Nouvel Opéra et du Palais du Trocadéro et qu'on exporte, depuis plusieurs années, jusqu'en Amérique et en Orient. Au même niveau, se trouvent la pierre fine et propre à la sculpture d'Apremont et de Charly; les pierres oolithiques de la Celle-Bruère, Vallenay, Lignières, Ambrault dans le Berry, et des carrières d'Allemagne, près *Caen*.

Cette dernière pierre, d'une réputation séculaire, a servi pour la construction de nombreuses églises gothiques en Normandie et à l'étranger. On l'a utilisée à la cathédrale de Cologne, à celle de Cantorbéry, au palais du Parlement et à l'abbaye de Westminster à Londres, à la Tour de Londres, à l'église Saint-Georges de New-York, etc.

Le calcaire de Caen pèse de 1 900 à 2 000 kilogrammes le mètre cube, résiste à des charges de 160 à 200 kilogrammes par centimètre carré et coûte en moyenne 20 francs le mètre cube sur place.

Le *callovien* est représenté par le calcaire blanc de Pougues (Nièvre); le *corallien* par les pierres d'*Enville* (Meuse) qui ont été employées sous l'Empire aux travaux des Tuileries et à la construction des ponts de Paris, par celles de Lérouville dans le même département, de la Charité (Nièvre), etc... On trouve, à ce même niveau, des calcaires à chaux hydraulique près de Besançon, des calcaires à ciment à Marins (Charente).

La base du *séquanien* fournit les célèbres calcaires à grain fin de Sainte-Ylie et de *Damparis* près Dôle (Jura), qui ont été employés à Paris dans la construction des ponts Saint-Michel et de Solférino, pour le socle du palais des Beaux-Arts, pour l'église de la Trinité, etc.

Ces carrières, heureusement situées sur les bords du canal du Rhône au Rhin, ont un grand développement. La pierre, qui pèse 2 700 kilogrammes et s'écrase sous des charges de 765 à 870 kilogrammes, coûte 40 francs le mètre cube, 60 francs à Lyon et 100 francs à Paris, tous droits payés.

C'est également dans le séquanien que sont situées les carrières de *Tonnerre* en Bourgogne (Yonne), où des bancs de 15 à 20 mètres d'épaisseur fournissent, par an, 3 à 4 000 mètres cubes de pierre.

La pierre de Tonnerre est très compacte, homogène, se laisse scier facilement et s'emploie surtout en carrelages et en dallages dont le prix varie de 8 fr. 50 à 12 fr. 50 le mètre carré à Paris. On en expédie dans toute la France et même en Angleterre, en Belgique, aux Etats-Unis.

Dans l'*oxfordien*, nous avons le calcaire de la Porte de France à Grenoble ; dans le *portlandien*, les pierres à bâtir du Bas-Boulonnais, les bancs d'oolithe, dite vacuolaire, exploités à Chevillon dans l'Ardennes.

Dans le *crétacé*, la craie-tuffeau, qui ne coûte guère plus de 20 francs le mètre carré, est très employée en Touraine.

L'*éocène* comprend le niveau du *calcaire grossier* qui fournit : la pierre de taille du Soissonnais et du Laonnais (Festieux, Mont-Ganelon), dite pierre à liards à cause de l'abondance des nummulites ; le banc à verrains (cerithium giganteum) formant, à son tour, la pierre du banc Saint-Jacques, celle de Crépy et de Villers-Cotteret ; la pierre de taille du Vexin français (à Chérence, Vallangoujard, Saillancourt) ; les lambourdes et la pierre à chaux de Mont-l'Evêque près de Senlis. C'est surtout au niveau du calcaire grossier qu'est empruntée la pierre de construction de Paris.

Le calcaire de Saint-Ouen n'est guère exploité que pour empierrement.

Dans l'assise du gypse, on trouve, à Champigny, un travertin exploité pour pierre à chaux.

Le calcaire de la Brie fournit les meulières de la Ferté-sous-Jouarre et le calcaire de Château-Landon avec lequel on a fait l'Arc de Triomphe et la crypte de l'église de Montmartre.

Dans le *miocène*, nous trouvons le calcaire de Beauce compre-

nant les meulières de Villers-Cotteret, Montmorency, Rambouillet, Epernon, Palaiseau, à limnées et graines de Chara, les moellons de Beaune-la-Rolande et Montargis.

2° CALCAIRES A CHAUX ET A CIMENT[1]

La cuisson du calcaire donne la *chaux* employée, avec du sable et de l'eau, à la fabrication des *mortiers*.

Suivant la proportion d'argile contenue, on a des chaux de nature différente.

Au-dessous de 5 p. 100 d'argile, on a de la *chaux grasse*, ainsi nommée parce qu'elle a la propriété de former, avec une quantité d'eau suffisante, une pâte grasse et foisonnante.

Les calcaires, qui renferment de 5 à 12 p. 100 d'argile, fournissent une *chaux maigre* donnant une pâte sans liant et sans onctuosité.

Avec une proportion d'argile variant de 12 à 20 p. 100, le calcaire donne de la *chaux hydraulique* qui jouit de la faculté de durcir sous l'eau.

Les calcaires tenant de 20 à 25 p. 100 d'argile fournissent des produits variables qui font prise, mais ne tardent pas à tomber en poussière au bout d'un ou deux jours. Quand la température a été élevée jusqu'à produire une vitrification partielle, ces produits ont encore plus d'hydraulicité que la chaux proprement dite. C'est de la chaux-limite ou *ciment à portland*, faisant prise au bout d'une douzaine d'heures.

De 25 à 30 p. 100, la calcination modérée du calcaire donne des *ciments romains* à prise rapide.

De 30 à 40 p. 100 d'argile, on a encore des ciments, mais de qualité généralement médiocre.

Enfin, au delà de 40 p. 100, on peut obtenir des *pouzzolanes artificielles* qui, réduites en poudre et mélangées à la chaux grasse, forment une pâte durcissant sous l'eau.

Les conditions nécessaires à la fabrication de la chaux hydrau-

[1] 1885. — Decœur. Chaux hydraulique de Teil (Ardèche). (*Ind. Min.*, 2e, t. XIV, p. 411 et 473.) — Voir Coll. *Ecole des Mines*, 1886, à 1890.

lique sont assez facilement réalisées, pourvu que la proportio d'argile initiale soit bien exactement celle qui convient ; car o peut à la rigueur, après avoir éteint, séparer par un blutage le parties défectueuses ; l'installation est fort simple.

Les ciments portland peuvent se faire avec la plupart des ca caires, pourvu qu'ils ne soient pas magnésiens (qu'ils ne tienne pas plus de 4 p. 100 de dolomie). Mais là, au contraire, l'install tion est compliquée ; car il est essentiel de broyer très fin pou avoir un produit bien homogène qui ne gonfle pas dans la con truction : ce qui nécessite une force motrice notable, des broyeur malaxeurs ; de plus, on a besoin de fours de cuisson spéciaux pe mettant d'atteindre à peu près la température du fusion de fe d'un laboratoire, etc.

Quant aux ciments hydrauliques, on se heurte à des problèm encore assez obscurs et, en fait, on n'en réussit guère la prépar tion en France qu'à Vassy et à Grenoble ; on ne sait pas si un certaine proportion de plâtre (il y en a jusqu'à 7 p. 100 dans le calcaires employés) ne serait pas nécessaire.

Nous nous contenterons de mentionner comme calcaires à ciment français :

Rhétien : ciment noir de Pouilly, en Bourgogne ;

Liasien : Vassy ;

Portlandien : Boulogne (Portland), etc. ;

Néocomien : Saint-Victor (Gard), etc.

3° CRAIE ET BLANC D'ESPAGNE[1]

On utilise sous le nom de *craie* pour la fabrication des crayon et sous celui de *blanc d'Espagne* pour la peinture à la détremp la préparation des couleurs, le nettoyage des objets de verre de métal, la fabrication du mastic de vitrier, etc., certai calcaires crétacés spéciaux appartenant pour la plupart à l'éta sénonien (craie blanche).

[1] Coll. *Ecole des Mines*, 1890. Craie vient de Creta ; les Romains tiraient, en effe la craie de l'île de Crète.

Cet étage, qui atteint 360 mètres d'épaisseur dans les puits artésiens de Paris, comprend les subdivisions suivantes :

Craie à (2) bélemnitelles (campanien).	Craie à belemnitella mucronata.	Craie de Meudon Craie de Compiègne
	Craie à belemnitella quadrata.	Craie à micraster glyphus Craie de Reims.
(1) Santonien .	Craie à micraster coranguinum Craie à micraster cortestudinarium.	

La craie blanche traçante est surtout développée dans la partie supérieure de l'étage, à Meudon et Bougival. On la retrouve à la côte de Canteleu près de Rouen, à Gisors, à Mantes, aux environs du camp de Châlons, près Troyes, etc.

Suivant la localité dont elle provient, elle porte, dans le commerce, les noms de blanc de Bougival, blanc de Meudon, blanc de Champagne ou de Troyes, blanc d'Espagne.

Nous nous contenterons de quelques indications sur les gisements de Meudon.

BLANCS DE CRAIE DE MEUDON ET DE BOUGIVAL

La hauteur de craie disponible en face de la machine de Port-Marly est de 20 mètres; la hauteur utile, de 15 mètres à prendre en deux étages.

L'exploitation se fait par piliers abandonnés ; l'administration des mines exige pour les piliers une dimension égale aux vides. Il en résulte qu'on laisse dans la carrière la moitié de la masse.

A Meudon, l'exploitation est limitée par le bas par le niveau hydrostatique de la Seine, limite qui donne une certaine importance à la recherche des bancs utiles. Ceux-ci apparaissent dans un bombement très marqué en ce point.

La craie est transportée par bateaux, et exportée même à l'étranger. Le mètre cube de roche vaut 5 à 6 francs à la carrière. Généralement, on lui fait subir un traitement sur place. On la met en digestion dans l'eau et on l'agite ; les spicules siliceux tombent au fond ; on décante la bouillie et on sèche à l'air. Avec les parties pures, on forme les matériaux de traçage ; avec les parties impures

mélangées à l'argile plastique qui surmonte la craie, on peut obtenir, en outre, artificiellement une bonne pierre à ciment.

La craie de Meudon, à cause de sa pureté, fournit 80 p. 100 de blanc (en volume) à la densité de 1,2 (pesant 1 200 kilogrammes le mètre cube).

Le rendement en poids à l'hectare peut, par suite, être évalué en gros à 100 000 tonnes.

Actuellement, la fabrication à Bougival ne dépasse pas 12 tonnes par jour. La tonne de blanc préparé vaut, sur place, environ 32 francs.

4° PIERRES LITHOGRAPHIQUES

Un calcaire, pour être propre à la lithographie, doit présenter des qualités toutes particulières. Il doit être compact avec un certain commencement de cristallinité, qui ne doit pourtant pas être trop sensible. Le poli doit être tel que la pierre garde un peu de porosité. En outre, il faut une homogénéité absolue de substance, une composition comprise entre des limites très restreintes, une teneur d'au moins 5 à 6 p. 100 de silice et d'argile. Si la silice n'est pas accompagnée d'argile, les pierres sont trop fragiles et trop dures au burin ; si l'argile n'est pas mélangée de silice, les pierres deviennent trop tendres. Les belles pierres tiennent environ 2 à 3 p. 100 de silice et autant d'argile. Ce n'est pas tout encore : un calcaire, qui présenterait des fissures de retrait avec cristallisations de calcite, serait sans valeur. Même des pierres qui semblent absolument intactes au premier abord, renferment souvent intérieurement des fissures cachées, des directions de cassure qui les feraient éclater sous la presse. Cela est particulièrement sensible dans les terrains ayant subi, après leur dépôt, des mouvements géologiques.

Pour essayer une pierre, on peut l'humecter avec l'haleine. La buée doit disparaître très vite du bord au centre et en formant constamment une figure semblable à elle-même. S'il y avait des fissures cachées, la buée s'allongerait le long de ces fissures.

On doit, en outre, examiner avec soin à la loupe et essayer la résistance à l'écrasement.

On conçoit que, dans ces conditions, les gisements industriels de pierres lithographiques soient assez rares, bien que les calcaires à grain fin, d'aspect plus ou moins lithographique, soient relativement fréquents. Ils ne sont, en effet, employables que si, en outre de toutes ces qualités, ils donnent des pierres de grande dimension.

Le gisement, de beaucoup le plus important, et le seul qui ait donné lieu à une exploitation considérable, est celui de Solenhofen en Bavière : nous dirons quelques mots ensuite de celui de Diano Marina en Ligurie.

Cette industrie des pierres lithographiques est d'ailleurs en décroissance depuis quelques années par suite du progrès des procédés d'héliogravure, de zincographie et autres... qui ont, entre autres avantages, celui d'être moins encombrants. De plus, les pierres de grande taille ont seules besoin d'être renouvelées ; les petites se trouvent fournies précisément par les grandes qui se cassent, un jour ou l'autre, sous la presse.

CALCAIRES LITHOGRAPHIQUES DE SOLENHOFEN[1]

Géologie. — La formation des schistes calcaires de Solenhofen est superposée à la dolomie du jura blanc. Elle constitue le sol d'une suite de plateaux entre Pappenheim, Mühlheim et Eichstödt, et atteint 60 à 70 mètres de puissance. Ces plateaux sont découpés par des vallées profondes de 200 à 300 mètres ; aussi y a-t-il un grand nombre d'affleurements sur lesquels se sont ouvertes beaucoup de carrières.

Les couches utilisables sont essentiellement irrégulières ; elles sont, en général, peu épaisses : 16 à 18 centimètres (ce qui n'est pas un inconvénient), n'ont aucune continuité en plan et sont très irrégulièrement réparties sur la hauteur de la formation. Leur allure n'est pas non plus bien réglée : tantôt elles sont horizon-

[1] Cette description est extraite de notes de voyage inédites de M. Fuchs. — Coll. *Ecole des Mines*, 1893.

tales, tantôt elles plongent de 16 à 20° vers l'intérieur de la mon tagne (quelquefois de 60°) ; il y a beaucoup de plissements locaux de grandes failles avec rejets importants, et souvent des vides, for més par les eaux, sur les parois desquels se trouvent des stalac tites et des enduits de carbonate de chaux cristallisé.

Exploitation. — A cause du froid, l'exploitation des carrières n' lieu que du 1er mai au 15 octobre ; en hiver, la gelée fait détache la partie supérieure schisteuse des bancs qui forment, dans la car rière, un amoncellement de débris. Il y a donc, avant tout exploitation, chaque année, un travail préparatoire de déblaie ment. Ces débris sont accumulés aux environs des carrières e forment des haldes qui ont souvent 100 mètres de long sur 15 à 20 mètres de haut.

Quant à l'exploitation proprement dite, elle se fait par gradin droits ; on commence par nettoyer parfaitement les bancs qu'on a reconnus comme étant utilisables par leur tranche, de manière à se rendre compte des fentes qui existent et qui délimitent les mor ceaux ; on détache les pierres en enfonçant des coins sur les côté et en dessous. Les fentes sont, en général, très abondantes dan les parties schisteuses et s'arrêtent souvent dans les parties com pactes. On obtient, dans l'abatage, des plaques de toutes les dimen sions possibles (on cherche naturellement à les obtenir du plu grand format possible, en longueur et en largeur), et variant en épaisseur de 1 centimètre et demi à 16 centimètres. Les dimension et la finesse du grain indiquent si on peut les utiliser, comm pierres lithographiques, comme dalles, ou comme ardoises.

Polissage. — Les blocs entassés en été sont, pour la plus grand part, polis en hiver.

Si les pierres ont moins de 10 centimètres d'épaisseur, on le ramène à cette épaisseur au ciseau et au marteau à pointe d diamant, en enlevant, tantôt d'un côté tantôt de l'autre, l'excès d matière, de manière à obtenir une pierre double (polie des deu côtés) si la finesse du grain le permet.

Le polissage proprement dit se fait à bras d'hommes, de femme et d'enfants. On place la pierre à polir sur un bâti en bois, on

jette dessus du sable et de l'eau ; sur cette pierre, on place une seconde pierre à polir un peu plus petite, et, sur celle-ci, une pierre plus grosse quelconque pour faire du poids. L'ouvrier donne à l'ensemble un mouvement de va-et-vient et remet du sable et de l'eau dès qu'il juge qu'il en est besoin ; le travail est fatigant. L'ouvrier se rend compte de l'horizontalité de la pierre au moyen d'une règle bien plane qu'il promène sur la surface.

On fait un second polissage avec du sable moyen, et un dernier généralement confié aux femmes et aux enfants, avec du sable fin.

Il faut beaucoup de patience et d'intelligence chez l'ouvrier qui doit juger si les deux pierres se polissent également, si l'une est plus vite terminée que l'autre, si l'on peut obtenir une pierre double, et doit chercher à utiliser les pierres du mieux qu'il peut.

Le temps employé au polissage est extrêmement variable ; des pierres de 95 sur 70 se polissent quelquefois en une demi-heure et quelquefois en trois jours seulement.

En général, pour 30 bonnes pierres polies, il y en a 60 de mauvaises. On classe les pierres en trois classes suivant l'uniformité de la surface : la première classe comprend celles dont la surface mouillée ressemble à un miroir.

Pour les dalles, au lieu de les polir l'une contre l'autre, on les polit au grès.

La proportion de déchet pour l'abatage dans les carrières est de 80 p. 100. Les 20 p. 100 utilisés se répartissent entre les dalles et les pierres lithographiques ; il y a deux tiers de pierres et un tiers de dalles.

Les ouvriers qui polissent gagnent 2 fr. 20 par jour, les femmes et les enfants de 1 à 2 francs ; chaque atelier de polissage se compose d'une quinzaine d'individus.

Enumération des carrières. — Les principales carrières sont :

Solenhofensbrüche. — Immenses excavations alignées sur 1 000 mètres de longueur sur le versant Ouest du ravin de Solenhofen. Le front de taille atteint 40 mètres de haut ; à 15 ou 20 mètres du sol, on rencontre la dolomie ; la formation de calcaires a une puissance de 60 mètres, les pierres lithographiques y sont jaunes. Près de Mühlheim, on trouve des bancs de $0^{m},30$ d'épaisseur.

2° *Schwarzbrüche.*

3° *Mornsheimbruch.* — Exploitation par gradins droits de 4 6 mètres de haut sur une hauteur totale de 40 mètres. Couche horizontales au centre, inclinées de 15 à 20° vers l'intérieur de l montagne sur les bords.

4° *Maxbruch.* — Carrière avec front de taille de 20 à 25 mètre Nombreuses fissures, dont plusieurs verticales régulières, dans l direction Nord 60° Ouest. Couches presque horizontales, banc compacts de 6 à 15 centimètres formant un tiers de la masse.

5° *Haardtbruch.* — Cette carrière est sur le plateau : il faut don remonter les déblais au-dessus du sol. Les travaux ont 2 à 300 mi tres de développement. La ligne se continue par une série d'excav tions appartenant à des paysans qui y font surtout des dalles; pui en été, quelques pierres lithographiques et même des ardoises ave lesquelles sont couvertes les maisons des environs de Solenhofe

La totalité des ouvriers du district de Solenhofen s'élève 1 200 environ ; la Compagnie Action-Verein en occupe 250 e été et 140 en hiver : elle produit les trois quarts des pierres litho graphiques du district.

CALCAIRES LITHOGRAPHIQUES DE DIANO-MARINA

Les gisements de pierres lithographiques de Diano-Marina sor situés en Ligurie, à proximité de la mer, de la route de la Cor niche et du chemin de fer de la Haute-Italie[1].

Le gisement est formé par des bancs de calcaire argileux inter calés dans la formation *crétacée*. Ces bancs, en tant qu'horizo géologique, ont une grande extension ; ils sont intercalés au milie d'une formation de schistes argilo-calcaires surmontés par de grès calcaro-siliceux dont la nuance brune contraste avec le teintes gris bleuâtre du système schisteux.

Les couches apparaissent sur le versant Nord des contreforts d la vallée de Diano-Marina et leur plongement est dirigé vers l Sud avec une inclinaison variant de 10 à 30°.

Les bancs de calcaire lithographique occupent plusieur

[1] Ce gisement a été visité et étudié par M. Fuchs en 1876.

niveaux ; on en distingue cinq, rien que dans les deux vallées de Varcavello et Gordero.

Ils donnent des pierres fines et compactes, mais tellement disloquées par des failles qu'on a dû, au bout de quelque temps, renoncer à tout travail.

Il y avait en 1876, quatre chantiers en activité, ceux de la Madonna-del-Rovere, de Calderina, de Varcavello et de Ferreti. Le tableau suivant indique, à ce moment, d'après M. Fuchs, les résultats d'exploitation.

3 181 tonnes de pierre (ou 67m,55) formée de blocs bruts en majeure partie, ont donné, après le premier sciage.	131 t. 352 de tranches qui se divisent en :	25 t. 13 de tranches offrant des formats de 3 3/4 et au-dessus qui, passés à la débiteuse, ont donné :	15 t. 043 de pierres marchandes (formats 12 et au-dess.).
		107 t. 216 de tranches offrant des formats au-dessus de 3 3/4. Ces formats n'ont pas été sciés mais leur déchet n'est pas de plus de 60 p. 100.	42 t. 486 de pierres marchandes (1 à 12)

En résumé, le rendement au sciage des blocs bruts a été :

Grands formats	8,31 p. 100.
Petits formats.	23,47 —
	31,78 p. 100.

On admet que les frais de sciage atteignent 186 francs par mètre cube de pierres marchandes.

5° MARBRE[1]

Le marbre n'est autre chose que du carbonate de chaux cristallisé dans des conditions particulières qui le rendent susceptible d'un beau poli. Une explication classique de cette cristallisation est tirée de la pression résultant de l'acide carbonique produit par dissociation à haute température ; il en résulte que le marbre est toujours localisé dans les terrains ayant subi un métamorphisme profond, soit mécanique, soit chimique, en particulier dans les

[1] Coll. *École des Mines*, 1896 à 1900.

régions montagneuses. La coloration vient d'oxydes métalliques ou de matières organiques carburées.

Pour qu'un marbre soit propre à la statuaire, il faut que la cristallisation des particules se soit faite en cristaux assez petit pour que les facettes ne se distinguent pas les unes des autres sans quoi le marbre prend un éclat qui nuit à sa beauté.

Les marbres peuvent être classés de bien des manières différentes plus ou moins arbitrairement ; nous donnerons trois exemples de classifications.

A. — CLASSIFICATION DES MARBRES PAR NATURE

C'est la classification souvent adoptée dans la pratique.

1. **Marbres simples.** — α). Marbres blancs. — *Paros*, *Pentélique*, *Carrare*, *Gênes*.

Albâtre de la province d'Oran (Arzew, Fellellah).

Albâtre d'Egypte.

β). Marbres colorés. — *Bleu turquoise*, *jaune antique*, *jaune Sienne*, avec taches rouges.

γ). Marbres noirs. — *Noir antique*, complètement noir ou parsemé de très petites taches blanches.

Petit granite, noirâtre, avec parties blanches ou moins foncées

Sainte-Anne, marbre belge à fond noir ou brun foncé, largement veiné par des fissures remplies de spath calcaire blanc. Il prend un beau poli et se prête bien aux ouvrages de tabletterie ordinaire cheminées, tables.

Bleu belge, limite du Sainte-Anne vers le noir, a une veinulation blanche très riche.

Noir grand antique, noir, avec de grandes taches blanches.

δ). Marbres rouges. — *Griotte*, à fond brun ou rouge brun, avec veines ou taches rouge clair, quelquefois blanches. (Aude).

Rouge antique (Grèce).

Sarancolin, à fond jaune ocreux, avec taches rouges (Pyrénées).

La *Vénus de Milo* a le buste en Paros, le bas du corps en Pentélique.

Marbre incarnat (à polypiers), grandes taches rouges (Languedoc; spécial à la France).

Portor, fond noir absolu veiné de fissures remplies de calcaire compact jaune doré (Pyrénées, Gênes, Porto-Venice).

2. Brèches. — Marbres de couleurs et de noyaux divers. Tantôt la pâte est noire et les noyaux sont foncés ; tantôt les noyaux sont plus clairs ; on cite :

Brèche d'Alais, de Tholon (jaune gris), près d'Aix.

Jaune fleuri. Rose fleuri.

Brocatelle d'Espagne (Tortosa).

3. Marbres composés. — *Campan*, calcaire saccharoïde avec veines.

Vert antique, serpentine.

Cipolin, talc.

Ruiniforme, à fond brun avec parties foncées à contours anguleux pouvant représenter des ruines (Florence).

4. Lumachelles. — Les *lumachelles* sont formées de coquillages ; elles prennent souvent un mauvais poli qui fait apparaître les tranches des coquillages (Mayenne, Meuse ; les plus belles viennent de Corinthe).

B. — CLASSIFICATION GÉOGRAPHIQUE DES MARBRES

Au lieu de classer les marbres par nature, on peut les classer d'après leur distribution géographique. Nous commencerons par la France qui est, du reste, avec la Grèce et l'Italie, un des pays où les marbres sont les plus abondants :

On peut y distinguer 7 groupes :

1° Le *groupe du Nord* (Nord, Pas-de-Calais, Ardennes, Meuse), comprenant : les marbres foncés de Marpont (Nord) ; les marbres gris ou rosés à veines blondes de Boulogne-sur-Mer (marbre Napoléon, marbre lunelle et marbre rubané), les lumachelles de la Meuse, dites Chalines ou marbres de l'Argonne, dures et difficiles à travailler, mais susceptibles d'un beau poli.

2° Le *groupe de l'Ouest*, avec les carrières de Sablé et Joué-e
Charnie dans la Sarthe, celles de Neuvillette et de Grez-en-Bouè
dans la Mayenne.

3° Le *groupe du Centre*, avec quelques marbres blancs cambrie
ou carbonifères du Morvan, peu exploités ; avec les marbres gr
dévoniens de Diou (Allier) ; avec ceux du Lot-et-Garonne, jaun
à teintes roses ou violacées et veines blanches et grises, tr
estimés, etc...

4° Le *groupe des Vosges :* carrières de Chippal et de Lavelin
(marbre blanc), Vackenback (marbre brun rougeâtre veiné de ble
et de gris), Russ (marbre brun vert).

5° Le *groupe des Alpes* représenté par les marbres de Chorg
et de Laur (noir veiné de jaune), de Guillestre (marbre violet
Saint-Crépin (beau marbre noir), tous dans les Hautes-Alpes; pa
les marbres noirs de l'Isère, les marbres jaunes et rouge violac
des Basses-Alpes.

6° Le *groupe des Pyrénées*, le plus important de tous, avec l
marbres blancs de Saint-Béat (Haute-Garonne) ; les marbres
variés de couleur de la vallée de Campan, de Barousse (Haute
Pyrénées), de la vallée d'Aspe ; les marbres rouges de Caun
dans l'Aude, etc...

7° Le *groupe de l'Algérie*, qui fournit les beaux albâtr
algériens jaunes, blanc pur, vert émeraude... le marbre blanc
le marbre statuaire de Filfila, le marbre brun rouge d'Aïn-Ouink
le marbre jaune de Philippeville, le marbre portor de la provin
de Constantine, les marbres de Bône et de Bougie.

L'*Italie* renferme, dans les Alpes, les plus riches gisements
marbres connus, ceux de Serravezza et de Carrare, la brèc
blanche à veines violettes de Strazzema près de Serra-Vezza, etc.

En *Grèce*, on connaît les marbres célèbres de Paros, du Pe
télique, de Naxos, de Chio, de Thasos, de Syra et d'Antip
ros ;

En *Espagne et Portugal*, les marbres d'Estrennas, de l'Alemtej
de l'Estramadure ;

En *Prusse*, le marbre noir de Buschenberg ;

En *Autriche*, les marbres blancs de Villasenina et de Vezza ;

Dans l'*Inde*, les marbres serpentineux de Delhi, de Gya, d

Jyepore, de Joudpore, du district de Jinnevelly, le marbre gris veiné de noir d'Assam, le marbre noir de Ducha, etc... ;

Dans le *Canada*, le marbre serpentineux de Greensville, le marbre noir à taches blanches de Missisquoibay, etc... ;

A *Cuba*, au *Mexique*, de très beaux marbres roses, jaunes, rouges, etc...

C. — CLASSIFICATION GÉOLOGIQUE

Enfin la classification que nous adopterons dans la description, pour le marbre comme pour les autres corps, est la classification géologique.

Le *terrain primitif* renferme fréquemment, dans la partie intermédiaire entre les gneiss et les micaschistes, en relation par conséquent avec les amphibolites et les leptynites, des bancs de cipolins, c'est-à-dire de calcaires cristallins qui fournissent souvent de beaux marbres.

C'est le niveau du marbre blanc de Saint-Béat, contenant de la pyrite, de la fluorine, du soufre natif et de la tourmaline verte ; c'est celui des calcaires cristallins de Saint-Philippe dans les Vosges, décrits par Delesse, etc.

En Grèce, quelques-uns des marbres exploités dans l'antiquité, semblent se trouver à ce niveau : ainsi ceux de Thasos (carrières d'Aliki), objets d'une exploitation importante du temps des Athéniens, très recherchés également par les Romains à cause de leurs teintes bariolées.

En Algérie, on trouve près de Bône, dans la province de Constantine, de beaux marbres cipolins blancs bleuâtres.

Le *cambrien* renferme quelques lentilles de marbre dans le plateau central, à Saligny (Allier), etc. ; en Bretagne, à Pontpéan, aux Mesliers ; en Normandie, à Laize, etc.

A l'époque *silurienne* se rattachent les calcaires noirs des environs de Luchon.

Le *dévonien* est un niveau de marbres important :

C'est ainsi que, dans la *région ardennaise*, l'eifélien fournit le calcaire de Givet épais de 400 mètres, marbre noir ou bleu foncé

avec des fossiles, (spirifer, stringocephalus, cyatophyllum, etc. dessinés en clair sur le poli des surfaces (marbre Sainte-Ann riche en polypiers ; marbre Charlemagne, riche en gastropodes

M. Dupont a cherché à établir que ces marbres avaient un origine corallienne.

Le famennien fournit le calcaire de Frasne, tantôt bleu, tant bigarré de rouge et de vert (marbres de Rance et de Fromelennes, rouge de Flandre).

Dans le *Boulonnais*, on a, au même niveau, le calcaire bleu no râtre de Ferques, dont la base est massive et exploitée pou marbre, dont la partie supérieure est schisteuse et fossilifère.

Dans la *Mayenne*, les gisements de calcaire forment deu groupes ; l'un, sur la rive gauche de la Mayenne (Saint-Céneré Saint-Pierre-sur-Erve), relié aux calcaires de la Sarthe (Viré Brûlon), l'autre; sur la rive droite (la Braconnière, Saint-Jean)

En *Bretagne*, on connaît les calcaires de la rade de Brest.

En *Morvan*, M. Michel Lévy a signalé les calcaires marbres d Diou et de Cussy-en-Morvan.

Dans le *Languedoc*, le pic de Cabrières, étudié par MM. de Rouville et Bergeron, contient un calcaire griotte rouge à goniatites

Enfin, dans les *Pyrénées*, le dévonien supérieur renferme un niveau très constant de marbres amygdalins où le calcaire cristallin constitue, en général, des noyaux plus ou moins arrondis pétris de goniatiles et entourés de schiste. Ces marbres formen des variétés nommées, soit *marbre griotte* quand le schiste qu accompagne le calcaire est rouge, soit *marbre campan* quand i est vert.

Le terrain *carbonifère* est exploité pour marbres dans le Ardennes, à Soignies, Feluy, etc.

Dans le Boulonnais, où le dévonien renferme déjà les marbre de Ferques, le carbonifère contient les calcaires du Haut-Banc à Productus Cora (marbres dits Henriette et Caroline), et, au-dessus les marbres Napoléon gris ou rosés à Productus undatus.

M. Fuchs a rattaché à ce niveau les marbres de la baie de Hà-Long (Tonkin).

C'est probablement dans le *trias* qu'il faut ranger les célèbres marbres de Carrare et de Serravezza dans la province de Lucques

sur lesquels nous reviendrons bientôt. Ils forment une puissante lentille de calcaire blanc bleuâtre, intercalée (dans certains points avec quelque discordance de stratification) au milieu de schistes magnésiens du trias. On a émis diverses hypothèses au sujet de ces marbres qu'on a même autrefois considérés comme éruptifs, tantôt admettant que leur situation actuelle était le résultat d'une intrusion postérieure au redressement des schistes; tantôt, au contraire, que, étant originellement intercalés dans ces schistes, au moment du plissement, ils avaient, par suite de leur résistance plus grande, agi comme une sorte de coin. La question ne paraît pas être encore bien tranchée.

Dans les périodes suivantes, les calcaires deviennent très abondants en Europe, mais les marbres sont plus localisés et se trouvent seulement dans les régions où le terrain a subi des bouleversements. C'est ainsi que, tandis que le bassin parisien ne contient pas de marbres, le *jurassique de la Provence* renferme des couches cristallines. En général, on peut remarquer que ces marbres secondaires sont d'une couleur plus uniforme, moins riche, presque toujours grise ou jaune. On est, par bien des considérations, conduit à admettre que les mers de la période primaire et du trias étaient le siège d'abondantes émanations hydrothermales et, par suite, renfermaient en abondance des principes chimiques dont les colorations rouges et vertes des argiles du trias et celles des roches de ses rivages (dans la Creuse, par exemple) sont un indice. Avec la période jurassique, ces manifestations internes diminuent tout au moins beaucoup d'intensité en Europe.

Quelques-uns des marbres blancs les plus célèbres, en particulier ceux de *Grèce* (Pentélique, Paros, Cyclades), appartiennent à la période secondaire. On peut également rattacher au jurassique les calcaires marbres du Valais (Chambéry, et Monthey); au *Crétacé*, ceux de la Tunisie orientale (Zaghoûan).

Dans le *tertiaire*, la France ne renferme plus que fort peu de véritables marbres ; cependant il en existe quelques types en Provence (la Brèche du Tholonais, près d'Aix, etc.); dans l'Aude, le marbre du mont Attila est nummulitique et, dans les environs de Paris même, une couche éocène, connue sous le nom de marbre de Gidry, est susceptible de prendre du poli.

A l'étranger, les marbres de la vallée de la Milianah en Tunisie sont éocènes; les marbres onyx de Felfellah (Oran) sont miocènes.

Au point de vue industriel, nous nous bornerons à quelques détails sur une des exploitations les plus renommées, celle de Carrare et nous terminerons par des généralités relatives aux diverses autres carrières.

MARBRES DE CARRARE

Ces marbres forment. comme nous l'avons dit, une puissante formation triasique entre *Carrare* et *Serravezza*.

Ils reposent sur des schistes paléozoïques quartzeux, talqueux et micacés, et ils sont surmontés par des schistes argileux et talqueux triasiques, recouverts à leur tour par des calcaires infraliasiques.

La formation marmoréenne présente, à la base et au sommet, des alternances de strates schisto-calcaires, calcschistes, cipolins et d'un calcaire siliceux couleur de cendre nommé *Grezzono*.

Il y a deux zones de marbre, généralement séparées par des calcaires gris siliceux :

Zone supérieure. — Marbres statuaires, marbres à veines violettes.

Zone inférieure. — Marbres blancs ordinaires, variété Bardiglio.

Le *marbre blanc statuaire* (couleur blanche ou rosée) est en masses ovoïdes lenticulaires, irrégulières, au milieu de marbres plus impurs dont il est séparé par la *madre macchia*. Cette matière impure, formée d'imprégnations talqueuses et ferrugineuses, a été comparée par les géologues qui soutenaient une origine éruptive aux salbandes des filons.

Plus la madre macchia est impure, plus, prétend-on, le marbre est pur.

Cette madre macchia manque parfois complètement.

Le *marbre blanc ordinaire* a une légère coloration bleuâtre due u fer ou à des matières charbonneuses.

Les *bardigli* sont des marbres divers comprenant :

Le *fleuri :* veines blanches nettes dans une masse grise ou uâtre.

Le *commun :* veines moins nettes.

Puis viennent *les cipolins :* calschistes avec alternances de cal- re saccharoïde et de matières talqueuses et micacées;

La *brèche calcaire de Serravezza :* éléments calcaires et argi- ix à colorations vives dans un ciment calcaire. Cette brèche e-même comprend les variétés *mischio*, *africano*, pour les ıleurs rouges et violettes, et une autre, dite *fleur de pêcher*, s dure, qui se vend 1 200 francs le mètre cube; le *carrare* qui nne le marbre statuaire; le *Massa*, qui fournit les variétés de ncs; le *Serravezza* dont on retire toutes les variétés : cipo- s, bardigli, brèche, etc.

Méthodes d'exploitation. — On exploite par mines dites, soit à française, soit ordinaires :

Dans les *Mines à la française*, on fait un trou de 3 à 4 centi- tres de diamètre, sur 15 mètres de profondeur; on l'élargit · l'acide chlorhydrique (plusieurs hectolitres) de façon à ıuser une chambre où l'on introduit plusieurs quintaux de *udre*. Les masses détachées roulent souvent au bas des ntagnes et l'on perd ainsi deux tiers de la matière.

Les *mines ordinaires* sont beaucoup plus faibles et destinées à rmettre de travailler les blocs obtenus par les mines à la fran- se; on ajoute souvent de la sciure de bois à la poudre pour ninuer son effet. Les *plans de clivage* du marbre servent ıucoup :

Le premier, le *Verso*, est le plan de stratification; c'est le plus ile.

Le *Secondo* est un plan de clivage perpendiculaire dans le sens la direction des strates.

Le *Contro* est le plan de plus difficile rupture; il est perpendi- laire aux deux précédents dans le sens de l'inclinaison.

Pour équarrir, on se sert du ciseau et de la scie.

Les débris s'accumulent dans les vallées en tas énormes, connus sous le nom de *ravanetti*, qui recouvrent et rendent impossible l'exploitation des parties recouvertes [1].

Chaque carrière possède en largeur toute une bande allant du sommet jusque dans la vallée, avec un *ravanetto*.

La *brèche de Serravezza* est exploitée avec soin en galeries, et chaque bloc détaché au pic et au coin.

La *population ouvrière* à Carrare, Massa, Serravezza, comprend :

Abatage, transport aux carrières	5 050	ouvriers.
Transport sur les routes	860	—
Scieries, ateliers	1 160	—
Sculpture	1 410	—
Total	8 460	ouvriers.

Il y a en tout 337 propriétaires et 180 scieries mécaniques.

L'*exportation à l'étranger*, en 1883, a été :

Etats-Unis et Canada	50 000	tonnes.
France	25 000	—
Grande-Bretagne	10 000	—
Belgique	5 000	—
Autres pays	35 000	—
	125 000	tonnes.

On évalue à 19 millions de francs la valeur des marbres sciés et ouvrés, à 4 millions de francs celle des marbres bruts.

PRODUCTION	CARRARE	MASSA	SERRAVEZZA	TOTAL En tonnes
	1884	1884	1883	
Marbres en blocs	70.749	13.149	4.647	88.745
Marbres ouvrés et sciés	41.006	15.294	25.694	81.994
TOTAL	111.955	28.443	30.341	170.739
En 1883 { Marbres bruts et ouvrés	114.716	17.770	31.859	164.345

[1] Ces amoncellements de débris blancs donnent à la montagne de Carrare, quand on la voit de loin, un aspect très spécial.

Le marbre supérieur statuaire, en gros blocs, va à 500 francs la tonne;

Le marbre fin vaut 100 francs.

Le bardigio fleuri, 100 francs.

Le marbre blanc ordinaire, 60 francs.

La mesure encore usitée est le palmo cube de $0^m,249$ de côté, pesant 40 kilogrammes. Le mètre cube contient 64 palmes, et la tonne en poids, 25 palmes; la densité du marbre étant 2,6 environ.

GÉNÉRALITÉS SUR L'EXPLOITATION DES MARBRES

Les résultats de l'exploitation varient suivant les contrées.

Dans le *Boulonnais*, on utilise en blocs 30 à 35 p. 100 des couches (calcaire carbonifère) dont la scieuse extrait des cinq dixièmes aux neuf dixièmes.

A *Ravenne*. — Utilisation en blocs : 50 p. 100; déchets à la scie : 12 p. 100 à 11 p. 100.

A *Frommelennes*. — Blocs : 60 à 75 p. 100; déchets à la scie : 12 p. 100.

A *Charlemagne*. — Blocs : 65 p. 100; déchets à la scie : 15 p. 100.

On admet, dans les carrières belges, qu'on extrait en blocs marchands :

50 p. 100	dans les couches	exceptionnellement favorables.
33 p. 100	—	bien régulières.
30 p. 100	—	ordinaires.
25 p. 100	—	irrégulières.

Le prix d'abatage du mètre cube de marbre en place varie de 8 à 10 francs, tous frais compris, dans les pays où la main-d'œuvre se paye de 3 fr. 50 à 5 francs par journée d'ouvrier ou de carrier.

Les frais de la taille des blocs sont de 2 francs à 2 fr. 50 par mètre carré de parement piqué.

Sciage du marbre. — On scie le marbre en tablettes de 2 centimètres et de 8 à 10 millimètres d'épaisseur. La première

sorte est la plus employée pour la fabrication des cheminées, tables de commodes, tables de toilette, etc.

On découpe dans un mètre cube 40 plaques de 2 centimètres et 70 à 75 plaques de 10 à 8 millimètres, les plaques ayant chacune 1 mètre carré.

Le sciage revient à environ 2 fr. 30 le mètre carré de surface sciée, avec une épaisseur de 2 centimètres, et à 2 fr. 25 pour les plaques de 8 à 10 millimètres.

Le marbre reçoit du sciage une plus-value assez considérable; ainsi le Sainte-Anne se vend 11 à 12 francs le mètre carré pour les plaques de 2 centimètres, et 8 à 9 francs pour les plaques de 1 centimètre à 0 cent. 8. (Ce qui fait 440 francs et 560 francs, au lieu de 210 francs le mètre cube brut.)

Un châssis à lames parallèles débite environ de 120 à 150 mètres cubes par an; son établissement, force motrice, etc., revient à 12 000 ou 15 000 francs.

Statistique. — Dans l'année 1880, il est passé aux douanes françaises en marbres équarris ou sciés :

	Mètres cubes	Prix moyen	Total
Importation.	9 300	383 fr.	3 580 000 fr.
Exportation.	1 200	450	540 000

Il est entré à Paris 6 000 mètres cubes de marbre commun ou de granite.

Le prix du mètre cube de marbre à Paris varie de 250 francs à 800 francs. Les marbres saccharoïdes sont ceux qui coûtent le plus cher; le beau carrare revient à 1 200 francs le mètre cube à Paris.

Comme dernier type de calcaire, nous citerons enfin l'*albâtre calcaire* ou *oriental* qui est une variété translucide de carbonate de chaux, de structure évidemment cristalline et assez analogue à celle des stalactites, employée pour la statuaire.

Bibliographie des marbres.

1851. Delesse. — Sur l'origine du calcaire du gneiss. (*B. S. G.* 2e, t. IX, p. 120 et 133.)

1851. DELESSE. — Marbres de *Saint-Philippe* (Vosges). (*Ann. d. M.*, et *B. S. G.*)

1854. GAUDRY. — Sur le calcaire marbre du *Mont Pentélique*. (*B. S. G.*, 2e, t. XI, p. 359.)

1855. DELESSE. — Sur les matériaux de construction à l'Exposition universelle.

1865. — Les carrières de marbre de *Telfelfa* (brochure).

1870. — L'exploitation des marbres de *Carrare*, de *Massa maritima* et *Seravezza*. (*Cuyper*, t. XXVII, p. 423.)

DUPONT. — Marbre de *Givet*. (*Bull. Ac. Belg.*, 3e série, t. II.)

1872. EDWARD HULL. — Sur le marbre d'*Angleterre*. (*A treatise on the building and ornamental stones of Great Britain*) cf. DAVIES, p. 35.

1873. LEYMERIE. — Sur la position et le mode de formation des marbres dévoniens du *Languedoc*. (*B. S. G.*, 3e, t. I, p. 242.)

1874. LEYMERIE. — Calc. carbon. des Pyrénées; marbres de *Saint-Béat*. (C. R., t. LXXIX, p. 145.)

1874. COQUAND. — Sur les marbres blancs statuaires des *Pyrénées* et de *Toscane*. (C. R., t. LXXIX, p. 411.)

1878. BALTZER. — Ueber die Marmor Lager an der Nordgrenze des *Finster Aarhorns*. (*Z. d. d. geol. ges.*, t. XXX, p. 217.)

1878. RENEVIER. — Sur le macigno des *Apennins* et le marbre de *Carrare*. (*Bull. Soc. vaudoise de Sc. nat.*, 2e série, t. XV, p. 92. Lausanne.)

1879. CH. BARROIS. — Le marbre griote des *Pyrénées*. (In-8° de 31 pages.)

1879. M. DE TRIBOLET. — Note sur les carrières de marbre de *Saillon*, en Valais. (In-8° de 27 pages, 1 planche. *Extr. du Bull. Soc. Sc. nat. de Neufchâtel.*)

1881. DE STEFANI. — La zona marmorifera delle *Alpi apuane*. (*Atti della Societa toscana di Scienze naturali*, processi-verbali; séance du 13 nov. 1881.)

1881. CHARPY. — Sur l'industrie de la marbrerie à *Saint-Amour* et sur les divers gisements de marbre dans le département du Jura. (In-8° de 34 pages.)

1882. RENEVIER. — Nouveau gisement de marbre saccharoïde sur *Brançon* (Valais). (*Bull. de la Soc. vaudoise des Sciences naturelles*, 2e série, t. XVIII, p. 129. Lausanne.)

1882. VIRLET D'AOUST. — Rapport sur les marbres et les pierres lithographiques du département de l'*Aude*. (In-4° de 19 pages. Paris, 1882.)

1882. GERHARD. — Ueber den Marmor von *Saillon* bei Saxon im Rhonethal. (*Neues Jahrbuch für mineralogie, geologie and paleontologie*, t. I, n° 3, p. 241.)

1884. VON KŒNEN. — Ueber den marbre griotte der Gegend von *Montpellier*. (*N. J. für Min.*, 1884, p. 203. Stuttgart.)

1884. CH.-L. FROSSARD. — Les marbres des *Pyrénées*. (In-8° de 44 pages. Paris, 1884. Cf. *B. S. G.*, 3e, t. XIII, p. 272. 1885.)

1886. HARTLEY. — The black marble of *Kilkenny* (*The scientific proceedings of the royal Dublin Society*, t. V, p. 486. Dublin.)

1886. KINAHAN. — *Irish* marbles and Limestone. (*The Scientific proceedings of the royal Dublin Society*, t. V, p. 372. Dublin.)

SULFATE DE CHAUX. — PLATRE[1]

Usages. — Les usages du plâtre pour le moulage et pour la construction sont bien connus ; ils tiennent à la propriété qu'a le plâtre d'être très dur lorsqu'il est hydraté ; pulvérulent et farineux au contraire, lorsqu'on lui a retiré son eau par la calcination.

Les meilleurs plâtres pour construction sont ceux qui, à poid égal, exigent le moindre volume d'eau pour se gâcher et fon une prise plus lente.

Le plâtre sert, en outre, à la préparation des *stucs*. On le délay dans une solution de colle blanche encore chaude, de manière obtenir une pâte de consistance molle à laquelle on ajoute diverse substances colorantes ; on polit le mélange sec à la pierre ponce à la pierre à aiguiser et au tripoli ; enfin on le frotte avec d feutre et de l'eau de savon, puis avec de l'huile. On parvient ain à reproduire les teintes et l'aspect des marbres.

On fait enfin un grand usage du plâtre en *agriculture* pou amender les terres destinées à être converties en prairies artif cielles. Son action paraît être restreinte aux légumineuses et au crucifères. Il semble qu'il ait pour effet de faire passer le alcalis de la couche superficielle où ils sont habituellement retenu dans les couches profondes où les racines des légumineuses vo chercher leurs aliments. Comme la potasse est rendue immédiat ment soluble par le plâtrage, on a l'habitude de ne répandre l plâtre que lorsqu'il existe des plantes poussées prêtes à se l'ass miler. On sait par quelle expérience Franklin a démontré le bons effets du plâtre.

Gisements. — Le gypse ou plâtre existe dans un grand nombr de terrains, en particulier dans tous ceux où nous avons eu l'o casion de décrire des gisements de sel, l'association entre le deux substances étant des plus constantes. De même que le sel, se présente avec une abondance toute particulière dans le keup

[1] Coll. *École des Mines*, 1901 à 1911.

(ou trias supérieur) : plâtres de Decize (Nièvre) et Lurcy Lévy (Allier) ; Dieuze (Lorraine) ; plâtres de Modane et Saint-Pierre-le-Moutiers ; plâtres d'Angleterre, etc... En outre, on en rencontre d'importants dépôts dans le tertiaire (bassin de Paris).

L'origine du gypse dans les terrains peut être attribuée à un certain nombre de causes diverses :

1° L'évaporation de l'eau de mer donne, comme nous avons déjà eu l'occasion de le dire, une première couche de gypse impur après lequel seulement le sel commence à se déposer. Il est probable qu'il faut rattacher à ce sulfate de chaux des eaux salées la presque totalité des dépôts de gypse associés avec des dépôts de sel. Lorsque des conditions spéciales de température, peut-être provoquées par des réactions chimiques ou, accidentellement, par des épanchements de sources thermales, se sont produites, le sulfate de chaux a pu se déshydrater et se déposer à l'état d'anhydrite. C'est l'origine que nous avons attribuée aux bancs si réguliers d'anhydrite, appelés Jahrringe, dans le sel de Stassfurt.

Presque tous les gisements de sel renferment d'ailleurs, en outre de la couche de gypse qui existe au-dessous, une certaine proportion de gypse incorporé ; c'est ainsi que, dans les chambres de dissolution du Saklzammergut, lorsqu'on y pénètre après l'écoulement des eaux, on voit toutes les parois couvertes de longues aiguilles de gypse scintillantes.

2° Il n'est pas nécessaire qu'on ait affaire à de l'eau de mer pour y trouver du gypse ; le sulfate de chaux, en raison de sa solubilité, se retrouve en proportions plus ou moins fortes dans la plupart des eaux douces et, par suite, il existe du gypse associé avec tous les dépôts de sels solubles dans les régions désertiques.

Ces deux premiers modes d'origine font déjà qu'on s'explique comment des gisements restreints de gypse peuvent se retrouver à tous les étages géologiques. Cependant, un fait incontestable et qui demande une autre interprétation, c'est la localisation à peu près complète des grands dépôts de gypse en Europe à deux étages, l'un triasique, l'autre tertiaire, qui nous sont déjà apparus comme les époques principales de dépôts du sel. Il faut bien admettre qu'à ces deux époques, il s'est produit un ensemble de conditions spéciales particulièrement favorables à la constitution de ces gise-

ments : d'une part et avant tout, la fin de grands bassins marin cessant d'être alimentés d'eau douce et s'évaporant ; la formation par suite de quelques mouvements du sol, de lagunes d'évapo ration fermées, analogues à celles que nous avons pu étudier soit dans les étangs de la Camargue, soit au Karabogas sur l Caspienne[1] ; mais, d'autre part aussi peut-être, le dégagement (e relation avec ces mouvements mêmes), d'abondantes source thermales sulfureuses et chlorurées, dégagement qui n'a rien qu de compatible avec les autres émanations métallifères dont l'époqu permotriasique a été certainement le théâtre ; c'est ce qui nou amène à parler d'une troisième mode accessoire de formation d gypse.

3° Il paraît exister des gisements de gypse ayant une origin absolument différente des précédents et résultant de l'attaqu d'un calcaire par des eaux chaudes chargées d'acide sulfurique tel est le cas pour certains gypses que nous avons eu l'occasio d'étudier en Savoie ; pour d'autres, intercalés dans le lias entre Ga et Digne, que M. Haug a décrits récemment. Tel serait, d'après les géologues algériens, le cas de divers gypses qualifiés d'éruptil en Algérie.

4° Enfin, le sulfate de chaux étant assez facilement soluble e pouvant se former d'autre part par l'action d'eaux ayant circul sur des sulfures de fer[2] et rencontrant du calcaire, il existe des for mations de gypse nettement secondaires, telles que les gypses pro venant du trias et infiltrés au-dessous de lui dans le terrain houiller de la Machine (Nièvre), telles que les cristaux gigantesque de ce corps, associés à la calamine de Laurium.

[1] Voir page 450.

[2] La pyrite de fer est abondante dans beaucoup de terrains.

GYPSE SÉDIMENTAIRE

A. — PÉRIODE PERMOTRIASIQUE

La coupe du permien et du trias comprend, comme on sait:

Keupérien .	Gyps-Keuper — Age principal du gypse en Franconie, dans les Vosges et la Meuse.
	Lettenkohle.
Franconien .	Muschelkalk — Groupe de l'anhydrite et du sel en Franconie.
	Dolomie — Marnes gypseuses dans les Vosges.
Vosgien . .	Grès bigarré — Marnes parfois gypsifères dans les Vosges.
Permien . .	Zechstein — Gypsifère à Stassfurt.

Le *Zechstein* contient le gisement de gypse de *Stassfurt* décrit à propos du sel[1] et sur lequel nous ne reviendrons pas. Nous rappellerons seulement qu'à Stassfurt on trouve le sulfate de chaux : 1° à l'état d'anhydrite dans la zone inférieure dite du sel gemme pur ; 2° tout à fait au toit des diverses formations salifères, au-dessus des schistes bitumineux, sous forme d'une épaisse couche de gypse et d'anhydrite.

Un niveau plus important de gypse est le keuper supérieur, dit aussi Gyps-keuper, où on exploite le plâtre dans l'Allier, le Morvan, la Lorraine, la Franconie, etc.

PLATRIÈRES DE DECIZE (NIÈVRE) ET LURCY-LÉVY (ALLIER)[2]

La coupe du trias comprend dans le Bourbonnais : 1° à la base, des grès argileux bariolés de jaune orangé et de violet lie de vin avec bancs de silex, argilolithes, etc. ; 2° à la partie supérieure, l'étage du plâtre.

Cet étage du plâtre renferme des marnes irisées avec bancs de

[1] Page 429.

[2] Notes de voyages inédites, 1888.

grès intercalés ; mais ce qui le caractérise du côté de Decize c'est l'abondance du mica blanc, orienté suivant des plans de délit, qui divise les bancs en tables minces : d'où leur nom local de grès fissiles.

Le plâtre est exploité surtout à l'Ouest de Lurcy-Lévy, au lieu dit de Grandvaux et aux environs de Decize. Il forme, dans ces régions, des bancs très réguliers alternants avec des argiles grises.

Aux carrières de Lurcy-Lévy, on le divise en trois bancs bien distincts :

Banc du dessus .	0,75 à	0,90	Rognons de gypse juxtaposés et séparés par des veines argileuses ayant au plus quelques centimètres d'épaisseur.
Veine marneuse .	0,04	0,06	
Banc des blocs. .	0,50	0.60	Rognons de gypse empâtés dans des argiles et souvent assez éloignés les uns des autres.
Filet d'argile . .	0,05		
Banc du dessous.	0,68	0,90	Assise compacte et homogène ne donnant pas de stérile.

Le toit de la couche est formé par un grès extrêmement dur connu par les mineurs sous le nom de *griffe*.

Enfin, au-dessus de l'étage à plâtre, vient le rhétien contenant des couches de sablon blanc kaolinisé dont nous parlerons à propos du kaolin.

Le trias ne contient pas, dans cette région, d'affleurement salifère; mais la présence de la source chlorurée de Bourbon-l'Archambault pourrait jusqu'à un certain point, faire supposer qu'il existe du sel en profondeur dans les strates.

GYPSE DE FRANCHE-COMTÉ ET BOURGOGNE

La même formation gypsifère triasique se retrouve en Franche-Comté, où nous avons eu déjà eu l'occasion d'étudier des dépôts de sel situés au même étage [1].

Dans le *Jura*, il existe dix carrières souterraines de gypse formant deux groupes principaux : l'un à Salins, l'autre à Arbois et à

[1] Page 482.

Grozon. L'exploitation de ces carrières, situées dans le keuper, a produit, dans ces dernières années, environ 20 000 tonnes par an.

Dans le *Doubs* également, il existe quatre ou cinq carrières de plâtre, en décroissance depuis quelques années, à Champvans, à Beure, à Verne et aux Fins ; elles n'ont pas produit en tout plus de 1 000 tonnes de plâtre en 1888.

Dans la *Côte-d'Or*, quelques carrières ont été ouvertes dans le gypse du keuper à Baulme-la-Roche, Mesmont et Ivry-en-Montagne ; leur extraction est d'environ 5 000 tonnes par an ; mais ces exploitations ont peine à lutter contre les plâtre de Paris d'une part et de la Dheune de l'autre.

GYPSE DE LORRAINE

La coupe du trias lorrain est, d'après M. Levallois, auprès de de la mine de sel de Vic :

Lias inférieur.
Rhétien : couche à Avicula contorta.

Keuper :
- dolomie et marne.
- gypse supérieur.
- marnes.
- gypse.
- dolomie moyenne.
- marnes.
- grès moyen de Stuttgart.
- gypse moyen.
- sel exploité.

Quelques-unes de ces couches de gypse sont exploitées : en particulier auprès de Dieuze et au Mont Weinsberg près Heilbronn.

Le gypse, aussi bien que le sel, forme à Dieuze des amas lenticulaires. Elie de Beaumont a fait remarquer que le sel de *Dieuze* ne renfermait ni chlorure de magnésium, ni traces d'iode ou de brome ; que, d'autre part, le gypse affectait la forme d'une série de gros tubercules autour de chacun desquels les marnes encaissantes sont relevées en voûte et parfois renversées. Ce gonflement s'expliquerait, suivant lui, si l'on admettait que le gypse fût dû à une épigénie du calcaire par des émanations sulfureuses ; en pareil cas, la transformation du calcaire en anhydrite produit un gonflement de

$\frac{285}{1000}$; du calcaire en gypse, de plus de moitié. L'hypothèse adoptée par Elie de Beaumont était donc celle de sources hydrothermales sulfureuses ; cette hypothèse n'a pas été généralement admise.

GYPSES DES PYRÉNÉES, DE L'ARIÈGE, DES ALPES, D'ANGLETERRE, ETC.

Dans les *Basses-Pyrénées* et les *Landes*, on rencontre des argiles bariolées gypseuses et souvent salifères formant des bandes allongées en relation avec des ophites. Leur âge a été souvent discuté mais M. Seunes[1] est récemment arrivé à montrer qu'elles représentaient des restes de voûtes anticlinales d'un terrain triasique fortement plissé avec des inflexions ayant donné lieu à des fractures transversales. Ce plissement est post-nummulitique. L'épanchement des diabases ophitiques, qui occupent l'un des plis, serait du commencement du crétacé.

Dans l'*Ariège*, il existe des couches régulières de gypse dans les marnes irisées ; en outre, certains amas gypseux sont en relation avec des ophites dans les terrains les plus divers. On les exploite dans de belles carrières, au milieu des marnes supraliasiques, à Arnave, à Avignac et Bédeillac ; dans le nummulitique, vers Betchat, etc.[2].

Dans les *Alpes*, les dépôts de gypse et d'anhydrite souvent imprégnés de sel (Moutiers, Bourg Saint-Maurice, etc.) sont intercalés dans des schistes gris lustrés remplis de mica et recouverts par un horizon très constant de cargneules ou calcaires dolomitiques, classés, par M. Favre, à la base du jurassique.

D'autres gisements de gypse importants existent en France, à *Saint-Léger sur Dheune* et aux environs d'Aix.

A l'étranger, nous nous bornerons à quelques mots sur les *plâtres anglais*. En 1881, la production de plâtre, en Angleterre, a été de 80 000 tonnes, estimées 600 000 francs. Le Derbyshire était repré-

[1] Thèse sur les terrains secondaires et l'éocène de la région sous-pyrénéenne. (*Ann. d. M.*, 1890.)

[2] Mussy, *Annales des Mines*, 6e, XIV, 582, 1868.

senté par trois mines et 13 000 tonnes ; le Nottinghamshire par neuf mines et 50 000 tonnes ; le Staffordshire par trois mines et 7 500 tonnes ; le Sussex par une mine et 9 500 tonnes. Autrefois, la grande source de plâtre en Angleterre était la mine de *Chellaston* en Derbyshire ; mais sa production est tombée à quelques centaines de tonnes. On y rencontrait une remarquable variété de gypse qui servait comme ingrédient principal à la manufacture des poteries de terre et donnait des plâtres extrêmement fins pour figurines.

B. — GYPSE JURASSIQUE

Comme type de gypse jurassique, nous citerons les lentilles de gypse intercalées dans les marnes calloviennes des environs de Digne, lentilles associées à des dolomies et qui, d'après M. Haug[1], auraient une origine lagunaire.

Le même auteur cite également dans les Alpes françaises, au col du Labouret[2], une intercalation de gypse dans le bathonien, dont le mode de formation lui paraît beaucoup plus douteux et qui pourrait être, suivant lui, le résultat d'un apport hydrothermal.

C. — GYPSE TERTIAIRE

PLATRE DE PARIS

Le *plâtre de Paris*[3] jouit, en raison de son extrême pureté et de sa blancheur, d'une renommée universelle. Il est exploité en grand et exporté jusqu'en Amérique.

On sait que le gypse repose sur le calcaire de Saint-Ouen (dont nous avons mentionné un type sous le nom de marbre de Givry) et est recouvert par les glaises vertes (elles-mêmes surmontées par le calcaire de Brie).

[1] Bull. du Service de la carte géologique, juillet 1891. — Cf. Lory. 1874 ; Gypse dans le jurassique de Gap. (*B. S. G.*, 3e, t, II, p. 17.)

[2] *Loc. cit.*, p. 8.

[3] 1855. HÉBERT. — Sur l'origine du gypse du bassin de Paris. (*B. S. G.*, 2e, t. XII, p. 766.)
1865. DESHAYES. — Sur la faune du gypse parisien. (*B. S. G.*, 2e, t. XXIII, p. 327.)
1875. VASSEUR. — Sur quelques vertébrés du gypse des environs de Paris. (*B. S. G.*, 3e, t. III, p. 134.)

L'assise du gypse a une épaisseur de 50 mètres à Montmartre, de 55 mètres à Sannois, de 30 mètres à Enghien. Elle est continuée par des assises alternatives de marnes tantôt marines, tantôt lacustres, et de gypse saccharoïde et parfois cristallisé. On a remarqué l'association, dans ce niveau, de formes marines de l'éocène avec d'autres du miocène supérieur.

Le gypse parisien comprend quatre masses principales :

La première masse, la plus constante, la plus étendue et la plus épaisse (elle a 20 mètres à Montmartre), est le gisement essentiel des mammifères décrits par Cuvier : Paleotherium Magnum, Paleotherium Medium, Paleotherium Minus, Anoplotherium Commune, Xiphodon Gracile... Elle est remarquable par sa division prismatique qui lui a fait donner le nom de *hauts-piliers*. On est depuis longtemps d'accord pour admettre que ce gypse aux assises très régulières ne peut être attribué à la transformation ultérieure d'un dépôt calcaire (ce qui ne peut d'ailleurs être supposé, à notre avis, que dans des cas très exceptionnels). L'opinion longtemps soutenue était qu'il y avait eu précipitation immédiate du gypse par l'arrivée, dans une eau lacustre chargée de sels calcaires, d'émanations riches en gaz sulfureux. Aujourd'hui, on admet la simple évaporation d'une lagune fermée. Les prétendues coquilles d'eau douce, sur la présence desquelles on s'était fondé pour admettre des phénomènes anormaux, sont souvent des paludestrines saumâtres prises pour des bytinies lacustres. D'ailleurs, nous avons expliqué à propos du potassium comment de véritables coquilles d'eau douce pouvaient être apportées [1], par le retour momentané d'un cours d'eau, dans un bassin fermé où le gypse continuait à se déposer. L'aspect des lentilles de gypse d'Argenteuil, avec les marnes qui les enveloppent, correspond tout à fait à l'idée qu'on peut se faire d'une lagune peu profonde aux eaux très concentrées et fréquemment mise à sec.

D. — GYPSE MIOCÈNE DE SICILE, ETC.

Comme gypses d'âge postérieur, nous nous bornerons à men-

[1] Page 451.

ionner ceux du miocène supérieur de l'Alsace, de la province de Tocco, des environs de Kimpina, etc.

En *Sicile*, le gypse existe dans le miocène et même dans le pliocène. Dans le miocène, nous trouvons, au-dessus du minerai de soufre, une masse très étendue de gypse saccharoïde, cristallin ou feuilleté, existant même là où le soufre fait défaut et ayant une puissance de 20 à 80 mètres; ce gypse paraît être en relation intime avec les gîtes de soufre, et nous avons vu qu'on attribuait le dépôt du soufre lui-même à sa décomposition par des hydrocarbures. On trouve, avec lui, un peu de strontiane sulfatée et de baryte sulfatée. Son toit est formé par des calcaires marneux blancs à foraminifères, dits Trubi [1].

GYPSES MÉTAMORPHIQUES ET INTRUSIFS

D'une façon générale, il y a lieu d'expliquer, par des phénomènes de plissements postérieurs, beaucoup d'intrusions de gypse donnant l'apparence de gypses éruptifs. Si on soumet à une action mécanique du gypse surmonté de marne, le gypse (comme le sel) viendra former une masse saillante tandis que les marnes, tout autour, s'émietteront et seront emportées par les eaux. Ou simplement, sans action mécanique, si certaines parties d'une masse de gypse se sont dissoutes, il en est résulté, aux points correspondants des terrains superposés, des affaissements donnant au gypse subsistant l'apparence de s'être élevé dans un anticlinal.

Cependant, l'existence de gypses réellement métamorphiques paraît difficilement contestable dans certains cas.

C'est ainsi que nous avons observé en 1883 dans les Alpes, au col du Galibier et au mont Iseran, des exemples particulièrement nets de calcaires localement transformés en gypse le long de diaclases et finissant par former des masses de gypse considérables avec des noyaux de calcaire empâtés.

[1] 1853. Villanova. Sur l'âge tertiaire du gisement de gypse en Sicile. (*B. S. G.* 2e, t. XI, p. 82.) Voir plus haut, page 274.

M. Haug[1] a décrit, au Sud de Gap, à Bréziers, Théris, Notre-Dame du Laus, etc., des faits analogues.

Il donne, par exemple, de la carrière de Bréziers la coupe ci-jointe (fig. 83) où l'on voit une lentille de gypse non stratifié g, passant au calcaire liasique l^2 qui l'englobe par l'intermédiaire de gypse stratifié g^1 et d'infiltrations verticales de gypse g^2 suivant des diaclases.

La présence du gypse est, là, absolument subordonnée au voisinage de dykes de mélaphyre[2].

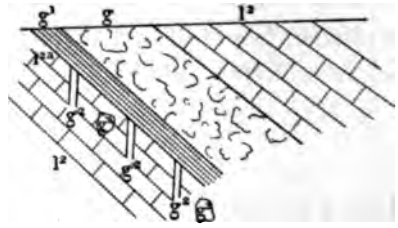


Fig. 83. — Coupe verticale dans une carrière de gypse à l'Ouest de Bréziers (d'après M. Haug). — l^2 calcaire du lias inférieur; l^{2a} lias décoloré traversé par des bandes de gypse g^2 et englobant des masses de gypse g^3 — g^1 : gypse stratifié; — g : gypse compact.

En *Amérique*, comme nous avons déjà eu l'occasion de le dire, Dana attribue à une cause semblable la formation de bancs de gypse avec calcaire empâté qui se trouvent dans le sous-étage silurien de Salina, entre le calcaire du Niagara et le calcaire de Hedelberg.

Enfin, un grand nombre de gypses d'*Algérie* et de *Tunisie* se présentent, d'après tous les géologues algériens, dans des conditions analogues, comme le résultat d'un métamorphisme en relation avec des ophites[3].

Ces gypses qualifiés d'éruptifs affectent généralement la forme de dykes, d'amas, sont intimement mélangés de calcaire et chargés par endroits de substances cristallines, quartz, pyrite, tourmaline, anhydrite, barytine, oligiste, ainsi que de fragments de

[1] *Loc. cit.*, p. 47.

[2] M. Renevier, étudiant des gypses des Alpes Vaudoises auxquels on avait attribué de même une origine éruptive, a récemment cherché à démontrer qu'ils étaient le produit de l'évaporation de lagunes (*Eclogæ*, t. II, n° 3).

[3] 1889. Notice sur les roches éruptives d'Algérie, par MM. Curie et Flamand.

roches encaissantes ou profondes. A *Dublineau*, on voit une masse centrale, blanche, compacte, de gypse avec croûtes cristallisées d'anhydrite, et de véritables salbandes où les éléments étrangers, marnes, cagneules, sont disposés verticalement sur les parois du filon gypseux.

Nous avons observé de même à *Rovigo*, près d'Alger, un dyke de gypse contenant des veines verticales d'oligiste cristallisé et particulièrement chargé d'éléments cristallins, tourmaline, pyrite, etc. [1].

Ces gypses d'Algérie se trouvent dans les terrains les plus divers, oxfordien, sénonien, cénomanien, tertiaire, etc.

On peut citer, parmi les gisements les plus intéressants, celui d'*Aïn-Nouissy* qui a plus de 3 kilomètres de long, et est traversé par des filons d'ophite dont l'âge ne peut être reculé au delà du pliocène. Il s'est développé, dans certains blocs calcaires empâtés, de l'albite et de la wernérite [2].

Quant aux gypses des hauts plateaux de Tunisie, M. Thomas qui les a récemment décrits [3], arrive à une conclusion analogue [4]. Pour lui, ils sont, ainsi que les ophites associées, le résultat d'une action épigénique produite par les plissements de l'Atlas et prolongée du miocène au quaternaire, le long des grandes lignes de fracture du sol.

Il y aurait intérêt à comparer le résultat de ces études avec celui du travail de M. Seunes sur les argiles gypseuses des Basses-Pyrénées, également accompagnées d'ophites.

Bibliographie du gypse.

1835. Levallois. — Carrières de gypse du mont Weinsberg près *Heilbronn*.

1844. Pomel. — Sur l'origine du gypse qui existe dans les roches calcaires de la Tour de Boulade et du Puy-du-Teiller (*Puy-de-Dôme*). (*B. S. G.*, 2°, t. I, p. 587.)

1847. Frapolli. — Faits qui peuvent servir à l'histoire des dépôts de gypse. (*B. S. G.*, 2°, t. IV, p. 832.)

[1] *Coll. Ecole des Mines*, n° 1809.

[2] Coquard, dans sa géologie du Sud de la province de Constantine, a cherché à rattacher tous les gypses à un même niveau suessonien.

[3] *B. S. G.*, 6 avril 1891.

[4] *Loc. cit.*, p. 463, 469.

1850. Manès. — Sur les dépôts de gypse des département de la *Charente* et de la Charente-Inférieure considérés comme jurassiques. (*B. S. G.*, 2e, t. VII, p. 605.)

1851. Nicaise. — Sur les amas de gypse de l'*île d'Ormuz* (golfe Persique). (*B. S. G.*, 2e, t. VII, p. 279.)

1861. Lory. — Sur le gisement des gypses triasiques des environs de *Vizille. Lozère*). (*B. S. G.*, 2e, t. XIX, p. 720.)

1862. Noguès. — Sur les gypses secondaires des *Corbières*. (*B. S. G.*, 2e, t. XX, p. 12.)

1862. de Rouville. — Sur l'âge triasique des dépôts gypseux secondaires du midi de la France. (*B. S. G.*, 2e, t. XIX, p. 683.)

1863. Leymerie. — Sur la formation gypseuse de la *Vallée de l'Ariège*. (*B. S. G.*, 2e, t. XX, p. 245.)

1868. Dieulafait. — Sur les gypses de *Ronjan*. (*B. S. G.*, 2e, t. XXV, p. 616.)

1874. Heidenheim. — Gyps Vorkommen in der Zechstein Formation. (*Geol. g. J. z.*, t. XXVI, p. 273.)

1878. Gypse dévonien de *Russie*. (*Richesses min. de la Russie*, Exposition de 1878.)

1879. Potier. — Gypses de l'ancien comté de *Nice*. (*B. S. G.*, 3e, t. VII. p. 603.)

1880. Carez. — Etage du gypse auprès de *Château-Thierry*. (*B. S. G.*, 3e, t. VIII, p. 247 et 462.)

1881. Caraven-Cachin. — Découverte du gypse dans les couches du tertiaire eocène supérieur du *Tarn*. (C. R., t. XCIII, n° 19, p. 753.)

Renevier. — Le gypse des environs de *Menaggio*. (*Bull. Soc. vaudoise des Sc. nat.*, 2e série, t. XVI, p. 1. Lausanne.)

1887. Cesaro. — Le gypse de la mine de *Carlamof*. (*Bull. Soc. franç. de minéralogie*, 2e, t. X, p. 315. Paris, 1887.)

1888. Goodchild. — On the natural history of gypsum.

1888. Arnaud. — Argiles gypsifères des *Charentes*. (*B. S. G.*, 3e, t. XVII, p. 290.)

1889. Tylor. — Gypsum deposits in *Manitoba*.

ALBATRE

L'albâtre comprend deux variétés : l'une, albâtre calcaire ou oriental ; l'autre, albâtre gypseux ou blanc vulgaire ; la première qui est du carbonate de chaux, la seconde du gypse. On fait de cette dernière des objets d'ornement, coupes, vases, statuettes, etc. Un des centres principaux d'exploitation d'albâtre gypseux est l'Italie. Les plus belles variétés viennent du Val di Marmolago, près Castellina, au Sud de Livourne. On en extrait également à Volterre en Ombrie et à Carrare.

MAGNÉSIUM

Mg ; Eq = 12. — P. at = 24.

Usages. — Le *magnésium* métallique est utilisé sous forme de fils, pour produire une lumière très vive. La *magnésie* a un certain nombre d'emplois intéressants que nous allons énumérer :

1° *Produits réfractaires.* — La magnésie pure, comme la chaux, est un corps pratiquement infusible ; mais ce qui constitue la grande différence entre ces deux matières, c'est que la chaux ne présente qu'une cohésion bien faible, une résistance presque nulle à l'usure, tandis que la magnésie, au contraire, forme des masses solides et résistantes qui ne se délitent pas sous l'action des agents atmosphériques.

La difficulté, pour en faire des soles ou des creusets, est de l'agglomérer suffisamment. On y a réussi partiellement en mélangeant la magnésie calcinée avec une solution de matières gommeuses ou sucrées ou encore avec des brais goudronneux. On a surtout obtenu de bons résultats en ajoutant à la magnésie en fine farine des argiles très grasses dont la proportion peut être abaissée à 15 p. 100 environ. Mais, pour certains usages où l'argile aurait eu une influence nuisible, ainsi pour la calcination du bicarbonate de soude, on a dû recourir à divers artifices, consistant, par exemple, à humecter la magnésie calcinée et pulvérisée avec une très petite quantité de dissolution d'un des sels magnésiens facilement décomposables par la chaleur : chlorure, carbonate, sulfite et azotate de magnésie. On comprime la pâte et l'on recuit doucement.

2° *Déphosphoration.* — Les produits réfractaires magnésiens, en outre de leur application générale pour résister au feu, jouissent d'une propriété très spéciale dans les travaux métallurgiques : c'est qu'ils absorbent et retiennent avec une grande énergie l'acide phosphorique. Il en est résulté pour la magnésie, dans ces dernières années, une application très importante dans les usines à fer, particulièrement, pour la France, dans celles de l'Est où l'on traite aujourd'hui couramment les minerais phosphoreux du toarcien.

Les premiers essais ont été faits sur des cornues Bessemer que l'on a garnies en pisé magnésien ; puis on a étendu l'usage de la magnésie aux soles des fours à acier et enfin au garnissage des cubilots. Comme une certaine proportion de chaux est nécessaire d'autre part pour éliminer le soufre, on a utilisé les dolomies qui, outre l'avantage de fournir à la fois chaux et magnésie, coûtent assez bon marché. Mais l'emploi de la dolomie donne lieu à des frais d'entretien fort élevés et à des réparations gênantes pour la continuité du travail; en sorte qu'il serait souvent préférable de lui substituer la magnésie proprement dite.

Les briques, adoptées dans ce cas et vendues sous le nom de magnésie, ne sont, en réalité, que des briques silico-magnésiennes qui tiennent jusqu'à 20 p. 100 de silice. On les obtient, soit par l'action de la silice sur le carbonate de magnésie naturel, soit par celle du silicate de soude sur la magnésie calcinée, en présence de l'eau.

Pour réduire la proportion de silice, on forme la pâte à briques avec de la magnésie calcinée en fine farine obtenue par un brassage de la giobertite pendant la calcination et l'on ajoute une faible proportion de silice très fine produite par la mouture de la silice fossile qui sert à préparer la dynamite ou de silice gélatineuse.

3° *Ciments magnésiens.* — On utilise les propriétés hydrauliques du silicate de magnésie pur et sa rapide combinaison avec les mucilages, pour produire des stucs très durs et susceptibles d'un beau poli On emploie le fluosilicate de magnésie pour le moulage des ornements. On fabrique des meules d'émeri artificielles en les agglutinant avec de l'oxychlorure de magnésium. On obtient également, par le mélange des oxychlorures et des silicates avec des sables quartzeux, des pavés très durs et non glissants.

4° *Verrerie.* — Dans la verrerie, la magnésie bien pure est employée en mélange dans les corps à fondre ; elle permet une notable économie de manganèse, et donne le moyen d'obtenir certaines colorations difficiles.

5° *Dans les sucreries,* on a essayé de l'employer de préférence à la chaux, à la baryte et à la strontiane. La chaux est trop caustique et trop avide d'eau ; en outre, elle colore les jus ; la baryte est vénéneuse et la strontiane a longtemps coûté un prix assez élevé ; néanmoins l'abaissement considérable du prix de la strontiane fait que la magnésie n'a pas été adoptée dans cette application.

6° *Pâte à papier.* — Le procédé Ekmann, entré dans la pratique courante pour préparer à bas prix des pâtes de bois de couleur blanche en une seule opération, est fondé sur l'emploi de la magnésie.

En traitant du carbonate de magnésie en suspension par un courant d'acide sulfurique, on obtient du bisulfite de magnésie qu'on fait agir, dans une chaudière sous pression, sur du bois déchiqueté et écrasé. L'action du sel sur le bois donne une masse qu'il suffit de comprimer et de laver pour obtenir, d'une part, la pâte très blanche (revenant à peine à 50 francs les 100 kilogrammes), et de l'autre, une solution gommeuse produite par l'action du sulfite de magnésie sur les résines des bois. Cette solution peut être employée pour l'apprêt des tissus.

7° *Toiles, calicots et papier blanc.* — On peut encore utiliser la magnésie de préférence au plâtre, à la baryte et au blanc de zinc, en raison de son éclatante blancheur et de son adhérence plus forte aux fibres pour faire l'apprêt des étoffes et papiers blancs.

8° *Produits chimiques.* — On emploie une quantité de magnésie assez forte pour la fabrication des eaux minérales artificielles, de la magnésie des pharmaciens, pour la préparation du carbonate de potasse au moyen du chlorure de potassium de Stassfurt par le procédé Engel. Enfin, on a proposé, à diverses reprises, de retirer l'azote des eaux d'égout au moyen de la magnésie. On préparerait, pour cela, une solution concentrée d'acide phosphorique par l'action de l'acide sulfurique sur les phosphates fossiles, on mélangerait cette solution aux eaux azotées, et on ferait passer sur un lit de

magnésie calcinée, où l'on recueillerait un précipité de phosphate ammoniaco-magnésien restituant tout le phosphate employé et l'azote des eaux.

Quelques chiffres, à considérer probablement comme des maxima, permettront de se rendre compte de l'importance respective que peuvent avoir ces divers débouchés :

1° Produits réfractaires, briques de déphosphoration (dolomies à 45 p. 100 de magnésie et magnésies) : 150 000 tonnes.

2° Industrie des produits chimiques (marché en Angleterre). Consommation annuelle : 50 000 tonnes, tirées aujourd'hui des chlorures allemands.

3° Consommation pharmaceutique; magnésie calcinée (marché en Angleterre) : 20 000 tonnes.

Les autres emplois sont, jusqu'ici, fort peu importants.

Gisements. — Les sources dont on peut tirer la magnésie sont les suivantes :

1° Evaporation des eaux tenant en dissolution des chlorures magnésiens ; à *Stassfurt* on en traite qui renferment 10 p. 100 de magnésie. L'eau de mer, en particulier, tient 2 kilogrammes de magnésie par mètre cube d'eau (les magnésies ainsi obtenues sont de prix assez élevé).

2° Attaque des dolomies par les acides (100 kilogrammes d'acide donnent 45 kilogrammes de magnésie) : procédé dispendieux donnant des magnésies impures, pulvérulentes et gélatineuses.

3° Glaubérites de Silésie, du Piémont, d'Espagne et de France, (ces magnésies sont toujours impures; elles tiennent au moins 5 p. 100 de silice, quand elles sont bien triées).

4° Evaporation des eaux naturelles tenant du sulfate de magnésie : Pulna, Birmenstorf, Hunyadi-Janos (source peu considérable ne produisant les magnésies qu'à des prix trop élevés).

5° Gisements naturels de carbonate de magnésie : Italie, Silésie, Mandoudi (Eubée) ; obtenues par ces procédés, les magnésies coûtaient (magnésie caustique), il y a quelques années, 6 à 800 francs la tonne.

Grâce à de nouveaux procédés, on arrive aujourd'hui à fournir,

en certains points, la magnésie caustique en briquettes à 150 francs la tonne.

Nous ne nous étendrons que sur un seul gisement, celui de l'île d'Eubée, qui, après avoir été exploité un moment, a dû être abandonné.

CARBONATES DE MAGNÉSIE DE L'EUBÉE (MANDOUDI)[1]

L'Ile d'Eubée, située le long de la côte orientale de l'Attique, est séparée du continent par un détroit de largeur trop peu considérable, dans lequel la navigation est fort difficile.

Une partie des montagnes, dans le Sud, est d'origine volcanique, et leurs environs renferment des sources thermales magnésiennes. Dans le Nord, quelques-uns des plus hauts sommets sont formés de serpentine, le reste des montagnes est constitué par de la dolomie et des schistes talqueux.

L'île est peu habitée, et la population se trouve concentrée le long de la côte occidentale.

Le domaine de *Mandoudi*, où se trouvent les magnésies, est situé à 40 kilomètres environ du Nord de l'île, sur sa rive orientale ; la plus grande partie de la côte en ce point est inabordable, sauf à *Kimasi*, port naturel très sur.

On a exploité deux filons : le *filon du cerf* et le *filon Kalamaki*, filons situés au milieu de schistes talqueux magnésiens, dans un pays où la serpentine est abondante et paraissant devoir leur remplissage à la circulation d'eaux plus ou moins chaudes, chargées de carbonate de magnésie (en même temps que de silice) par leur passage à travers les terrains. Ces sources magnésiennes ont, en effet, dans la même région, tapissé un grand nombre de fissures blanches de quelques millimètres d'épaisseur en y déposant un mélange de carbonate de magnésie et de silice, plus résistant que les schistes encaissants et, par suite, mis en relief par l'érosion atmosphérique. Les filons exploités ne sont que deux de ces veines d'une importance exceptionnelle.

[1] Coll. *École des Mines*, 1882.

Filon du cerf (*ellafossiovalles*). — Sur le versant de la montagne qui domine la rive gauche du Stringolakos, petit cours d'eau qui va se jeter dans la mer à Kimasi, il existe une tranchée dont il a été extrait 20 000 tonnes environ de carbonate de magnésie et, auprès de cette tranchée, des haldes composées de schistes, magnésies impures et débris de magnésies pures.

L'ouverture du travail a été faite à ciel ouvert; puis on est entré en galeries en pleine masse de magnésie (8 à 10 attaques plus ou moins considérables sur l'affleurement du filon).

En moyenne, la direction du filon est Nord 8° Est, sa pente 66° Ouest.

Le filon n'a pas moins de 4 kilomètres de longueur dans le domaine de Mandoudi, et va se terminer auprès d'Achmet-Agha, où il est reconnu par des travaux.

2° *Filon Kalamaki.* — Moins important que le filon du Cerf, le filon Kalamaki lui est parallèle à 2 kilomètres à l'Est. Son prolongement Nord s'alignerait sur les roches du port Kimasi, il est caché en général sous des alluvions d'une certaine étendue, mais il apparaît dans un petit col, au haut du vallon de Scalorevina, à une distance de 1 500 mètres du port de Kimasi.

Le filon est à flanc de coteau (100 à 110 mètres d'altitude), il est jalonné par des blocs qui font saillie et des excavations récentes; son épaisseur est environ de 25 mètres; on en a sorti quelques milliers de tonnes de magnésie cristallisée.

Les minerais extraits, quoique assez purs et homogènes, doivent pourtant être cassés et triés à la main afin d'en retirer les parties quartzeuses.

Le minerai trié (densité 2,85) renferme 47 p. 100 de magnésie, sans autre élément étranger que des traces de chaux, de fer, d'alumine, et un peu d'eau d'hydratation, environ 2 p. 100.

Giobertite de Silésie et de Styrie. — A la suite de la giobertite de l'Eubée, nous nous contenterons de mentionner la présence de ce même minéral en masses exploitables à Grochau, en Silésie; à Kraubath et à Oberdorf, en Styrie; enfin au Canada [1].

[1] *Revue de géol.*, t. VI, p. 64, et *A. d. M.*, 1868, 6e, t. XIV, p. 584.

ÉCUME DE MER (SILICATE DE MAGNÉSIE)

L'écume de mer est un silicate de magnésie très léger (densité 0,8 à 1) dont on fabrique des objets divers à l'usage des fumeurs.

La majeure partie vient de l'Orient où l'on peut citer divers gisements, renfermant pour la plupart, à ce qu'il semble, l'écume comme un produit de réactions secondaires et de circulation d'eaux magnésiennes superficielles à travers des graviers. Les centres principaux sont :

Esky-Scheir (Asie Mineure) ;

Angora, Tharsus, Sparte (Caramanie) ;

Bosnie, Grèce, Moravie.

Les exploitations les plus importantes sont concentrées autour d'*Esky-Scheir.*

On cite :

1° A l'Est, à 9 lieues de la ville, la carrière de *Kemikli* (abandonnée) ;

2° A l'Est, à 6 lieues de la ville. *Ieni-Damar* (mine inondée) ;

3° Au Sud, à 4 lieues de la ville, *Karadjouk.* Dans ce gîte, la couche de silicate est située au mur de 3 couches de roches dures ayant de 2 à 6 mètres de puissance que l'on perce difficilement dans les puits, à l'aide du feu.

Vers le Sud-Est, *Sarisu*, renferme une veine très riche qui a fourni 11 000 caisses de minerai en 1881 ; aujourd'hui, on ne trouve plus que de petits morceaux.

A l'Ouest et Nord-Ouest, à 7 lieues de la ville, la mine *Inum Esoftscha*, est abandonnée ; *Nemli* fournit une écume jaune en petits fragments, résistante et compacte.

Dans le voisinage de Sepedji, on connaît une veine riche appelée *Ieni-Damar* (abandonnée).

Actuellement, les travaux sont limités aux *Sare-Sou* et *Kemikli.*

Les environs de Esky-Scheir forment un bassin, sur le bord duquel l'écume apparaît mélangée à du gravier et plaquée contre la roche solide ; les couches ont un plongement de 45° vers le centre du bassin.

L'écume se trouve quelquefois encaissée entre 2 couches de

graviers, parfois eux-mêmes interrompus par des couches argileuses; souvent aussi, l'écume apparaît comme enveloppant de gros blocs de graviers.

L'*exploitation* se fait par petits puits jusqu'à ce qu'on trouve une veine. On est rapidement arrêté par l'eau en profondeur et par la ventilation insuffisante.

Une fois l'écume brute extraite, on la taille en blocs de manière à séparer les impuretés et l'on distingue 4 *classes* suivant les grosseurs et 11 *qualités* par classe.

La vente se fait en caisses, d'environ $0^{m3},08$, dont la valeur est de 18 à 20 francs.

Bibliographie du Magnésium.

1847. Ch. Sainte-Claire Deville. — Carbonate de magnésie en rognons botryoïdes recueilli à la surface d'une lave à la Guadeloupe. (*B. S. G.*, 2e, t. V, p. 66.)

1871. Bender. — Agglomérés magnésiens. *Bull. Soc. Chim.*, t. XV, p. 42.)

1874. Gorceix. — Tertiaire de l'île d'Eubée. (*B. S. G.*, 3e série, t. II, p. 401.)

1883. Rigaud. — Note sur les emplois industriels de la magnésie.

BARIUM

Ba; Eq = 68,5. — P. at = 137.

Usage. — Les composés du barium ont peu d'emploi.

On se sert quelquefois de la baryte industriellement, d'après une observation ancienne de Boussingault, pour absorber l'oxygène de l'air et le restituer à une température plus élevée. La baryte employée est extraite du sulfate en passant par le sulfure (réduction au charbon) et par l'azotate.

Le bioxyde est utilisé dans la préparation de l'eau oxygénée et vaut environ 22 francs la tonne; le carbonate sert dans certains procédés de fabrication du verre.

L'industrie minière a essayé maintes fois d'adopter les sels de baryte pour la clarification des jus de betterave.

Mais le sel le plus employé est le sulfate, soit naturel, soit fabriqué par le procédé Kuhlmann. Sa couleur blanche, son opacité et son inaltérabilité le font entrer, sous le nom de blanc fixe, dans la fabrication des papiers de tenture et des cartons glacés, dans la peinture à la détrempe, etc. En outre, sa densité très forte l'a tout naturellement indiqué à l'attention des falsificateurs de substances blanches.

Gisements. — Le minerai du barium est le sulfate ou barytine[1], qui se présente, en général, comme gangue de minerais métallifères, en particulier de filons de plomb; souvent aussi, comme produit filonien associé au quartz et à la fluorine : notamment, en France, dans les filons d'âge triasique.

[1] Son prix ne dépasse guère une dizaine de francs par tonne.

L'association de la baryte avec le plomb est très intime; elle est d'ailleurs en relation avec les propriétés chimiques et minéralogiques du barium qui le rapprochent beaucoup plus du plomb que du calcium auquel on l'associe en général. On sait que la barytine est isomorphe avec l'anglésite, et la withérite (carbonate) avec la cérusite.

Le caractère assez constant des gîtes barytiques est d'être localisé dans les parties superficielles et de disparaître à une certaine profondeur, comme si les eaux chargées de sulfure de barium qui ont amené la baryte, n'avaient produit de dépôts sur leur passage que là où l'oxygène de l'air pouvait pénétrer pour transformer ce sulfure en sulfate insoluble.

Après avoir longtemps considéré la baryte comme un produit exclusivement filonien, on sait aujourd'hui que les roches éruptives en renferment couramment une certaine proportion.

Les exploitations de barytine proprement dite sont assez restreintes. Comme c'est une substance inconcessible, on a souvent pris comme prétexte de son extraction la mise en valeur d'un gisement de galène concessible, mais en réalité sans intérêt. On peut citer quelques carrières aux environs de Brioude, à Aurouze et près de Massiac.

Un gisement de baryte sulfatée à *Laize-la-Ville* dans le Calvados, a donné lieu jadis à quelques discussions géologiques.

Il avait été décrit par M. Villanova comme d'origine sédimentaire et contemporaine d'un calcaire marbre silurien dans lequel on le trouve encaissé. On a soutenu, d'autre part, qu'on avait affaire à des infiltrations très postérieures.

On peut noter, à ce propos, que le dépôt du sulfate de baryte par imprégnation aqueuse est, malgré l'insolubilité de ce corps, un fait incontestable. On voit à Alençon, à Avallon et surtout à Nontron, des gryphées et des belemnites du lias incrustées de sulfate de baryte.

Ailleurs, à Avallon (Yonne) et à Thiviers (Dordogne) on trouve des arkoses complètement pénétrées de sulfate de baryte et pénétrées certainement après leur dépôt.

Dans certains terrains, en particulier dans le trias, la barytine est très abondante en même temps que d'autres substances miné-

rales et métallifères, de la silice qui a durci les grès, de la galène, quelquefois du cuivre, etc. Là il semble y avoir eu des épanchements de nappes minéralisées contemporaines du dépôt. Lorsque l'imprégnation est postérieure, on a admis que la barytine pouvait résulter de l'action de certains sulfates, en particulier du sulfate de fer provenant des pyrites, sur la baryte qui existe à l'état d'hydrate dans beaucoup de terrains stratifiés.

Comme types étrangers de barytine, on peut citer la formation du *barytishe blei* classique dans la Saxe, en particulier à Freiberg, où des filons à gangue barytique contenant de l'argent, de l'arsenic natif, de la bournonite, de la blende, de la stibine, des pyrites de fer et de cuivre, de la fluorine et de la calcite recoupent des filons quartzeux plus anciens.

Nous dirons seulement quelques mots d'un gîte intéressant qui a été exploité avec une certaine activité en Belgique, à *Fleurus*.

Barytine de Fleurus[1]. — Il paraît exister à Fleurus, dans le calcaire carbonifère, un large filon de barytine accompagné, à sa partie supérieure, d'une importante nappe d'épanchement qui, jusqu'ici, a été seule atteinte par les travaux et qui est recouverte, à son tour,

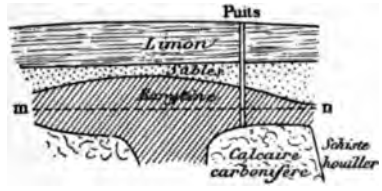


Fig. 84. — Coupe verticale du gîte de barytine de Fleurus (Belgique).

de limon, de sable et autres matériaux de transport diluviens. Ce gisement doit être, selon toute vraisemblance, dans une position analogue à celle des autres grands gîtes métallifères de la Belgique, en particulier de ceux du Bleiberg et de la Vieille-Montagne. Mais l'existence d'un niveau d'eau qui a constamment arrêté les travaux à une faible profondeur, fait que l'on n'a encore jamais atteint le filon lui-même. La nappe d'épanchement a une longueur de 5 à

[1] Coll. *École des Mines*, 1879.

600 mètres; divers indices font présumer que le filon lui-même doit être beaucoup plus long, environ de 6 kilomètres. La largeur de l'épanchement, perpendiculairement à la direction moyenne du filon qui est 150°, atteint une centaine de mètres dans la partie occidentale actuellement exploitée.

Le remplissage est constitué exclusivement par de la barytine, généralement tout à fait pure et ne renfermant que d'une manière très accidentelle un peu de quartz et d'oxyde de fer, ce dernier paraissant se rattacher à des infiltrations superficielles. La barytine, elle-même, est en général sableuse et grenue, c'est-à-dire cristallisée en petit avec des rognons, des zones plus compactes, des parties géodiques. Ces dernières sont entièrement blanches et leur proportion paraît augmenter avec la profondeur.

Quant à la forme du gisement, elle est assez irrégulière, comme l'ont montré divers travaux de recherches.

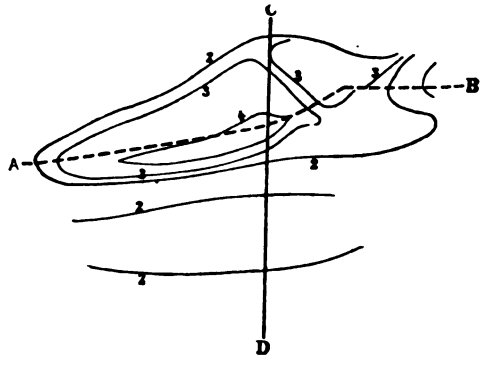


Fig. 85. — Plan du gîte de barytine de Fleurus (avec courbes de niveau).

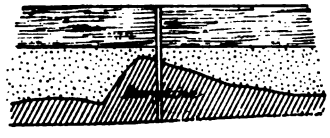


Fig. 86. — Coupe verticale DC.

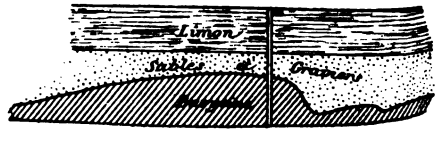


Fig. 87. — Coupe verticale AB.

Les figures ci-jointes, 85 86 et 87, donnent les courbes de niveau du gîte avec deux coupes, l'une longitudinale, l'autre transversale. Vers l'Est, le gisement paraît se prolonger jusqu'à Fleurus et, de ce côté, on a rencontré de la galène dans la bary-

tine. On peut présumer que le minerai de plomb augmentera en profondeur.

Comme épaisseur de l'épanchement, on estime, en moyenne, 5 mètres au-dessus du niveau d'eau, 5 mètres au-dessous. On est arrivé ainsi à un cubage de 200 000 tonnes.

Barytine de l'Ariège. — Dans l'Ariège, M. Mussy a décrit un certain nombre de filons de barytine, situés :

1° Dans les calcaires dévoniens près de Castelnau (ocre, galène, pyrite de cuivre et pyrite de fer en mouches) ;

2° Dans les grès bigarrés du col de Bouich vers Rimont. Les filons, qui atteignent jusqu'à 3 ou 4 mètres d'épaisseur, contiennent des traces de cuivre. On exploite la barytine à Camel près Castelnau ;

3° Dans les calcschites du Lias près Caumont, sur les bords du Salat.

Bibliographie du barium.

1852. Villanova. — Sur un gisement de baryte sulfatée de *Laize-la-Ville* (*Calvados*). (*B. S. G.*, 2e, t. IX, p. 388.)

1857. Gompertz. — Du blanc inaltérable ou blanc fixe (sulfate de baryte.) (*Cuyper*, t. I, p. 265.)

1879. Revue de géologie. (*Ann. d. M.*, 6e, t. XVII, p. 132.)

1868. Mussy. (*Ann. d. M.*, 6e, t. XIV, p. 579.)

*Fuchs. — Notes de voyage inédites sur le gite de Fleurus.

1877-78. E.-T. Hardman. — On the Barytes Mines near Bautry. (*The Scientific proceedings of the royal Dublin Society*, n° 1 et 3, p. 121 du t. I, Dublin, 1877-78 ; *J. of the royal geological Society*, new series, t. V, p. 99, Dublin, 1878.

1890. E.-S. Dana. — Barium Sulphate from Perkin's mill, Templeton. *Province of Quebec*. (*The Amg. of Sc.*, t. XXXIX, p. 61. New-Haven, 1890.)

STRONTIUM

St ; $Eq_{\bullet}$ = 43,75. — P.at = 87,5.

Usages. — On utilise une certaine quantité de strontium dans le fabrication du sucre (procédé Dessaux). Dans cette industrie, on a le choix entre la chaux, la magnésie, la baryte et la strontiane. Chacun de ces corps a ses inconvénients ; mais la chaux est généralement préférée à cause de son bon marché. Cependant, depuis quelques années, le prix de la strontiane ayant beaucoup baissé à la suite de la découverte de gisements en Westphalie, plusieurs raffineries[1] se sont installées pour son emploi.

Le plus souvent, la strontiane arrive d'Allemagne à l'état d'hydrate à 9 équivalents ; certaines raffineries reçoivent pourtant directement la strontiane en carbonate. Une usine s'est récemment montée au Havre pour la fabrication de la strontiane.

En dehors de cet emploi, on consomme un peu d'azotate de strontiane comme matière colorante pour les feux d'artifice, et l'on a quelquefois proposé de remplacer partiellement la magnésie par la strontiane dans les garnissages basiques. Récemment, on a annoncé certaines applications des sels de strontiane en médecine.

Gisements. — Les deux minéraux principaux du strontium, la *strontianite* ou carbonate et la *célestine* ou sulfate, sont, l'un et l'autre, assez rares dans la nature[2].

[1] Notamment la raffinerie Say, à Paris.

[2] Nous ne mentionnerons que pour mémoire la *Baryto-célestine* (sulfate double de baryte et strontiane) et la *Brewstérite* (zéolithe à base de baryte et de strontiane) qui sont des raretés minéralogiques.

La strontianite est aujourd'hui le véritable minerai ; la célestine ne peut guère être utilisée qu'après transformation préalable en carbonate.

I. — STRONTIANITE

GITE D'AHLEN EN WESTPHALIE[1]

La strontianite n'a été, jusqu'à ces dernières années, l'objet d'aucune exploitation. Elle n'était, en effet, connue que minéralogiquement dans de rares localités, toutes situées hors de France. Nous citerons notamment :

Strontian en Ecosse, dans des filons plombeux traversant le gneiss ; la chaussée des géants en Irlande (dans le basalte) ; Clausthal dans le Harz ; Braünsdorf en Saxe (mine Neues-Hoffnung-Gottes) ; Léogan près Salzburg ; le mont Gaveradi (Grisons) ; Rdoboj en Croatie (dans des marnes avec soufre) ; la plaine de la Transylvanie (dans le Diluvium) ; Schoharic, aux Etats-Unis (dans un calcaire hydraulique) ; Montréal au Canada (dans des schistes anciens), etc.

Il y a environ une dizaine d'années, on a reconnu que la strontianite pouvait avantageusement remplacer le carbonate artificiel de baryte dont le prix est plus élevé et l'action moins efficace pour l'épuration des jus de betterave.

Cette constatation a coïncidé avec la découverte d'une série importante de gîtes de strontianite en Westphalie, aux environs d'*Ahlen*.

La strontianite forme, dans cette région, tout un réseau de filons, dont l'orientation oscille autour de la ligne Nord-Sud avec des ramifications dans des directions très variables et qui recoupent des argiles marneuses à Bélemnitella mucronata (équivalent de la craie de Meudon).

Ces filons, qui paraissent correspondre à des fissures de retrait, ont une puissance variable de $0^m,01$ à $0^m,50$ et une longueur souvent considérable.

[1] Coll. *École des Mines*, 1684.

On n'estime pas à moins de 44 kilomètres leur longueur totale, en les supposant mis bout à bout ; mais, en revanche, leur extension dans la profondeur paraît peu considérable.

Le remplissage est formé uniquement de strontianite, à laquelle un peu de calcite est seule parfois associée.

L'exploitation qui, vers 1876, avait atteint plusieurs milliers de tonnes, s'est un peu ralentie dans ces dernières années.

En France, on a signalé également quelques filons de strontianite dans le Gard, l'Ardèche et la Lozère. Dans le Gard, la strontianite est grisâtre et affleure sur une longueur de 5 à 600 mètres au milieu de calcaires oxfordiens. Dans l'Ardèche, la roche est plus blanche.

II. — CÉLESTINE

GITE DU ROUET A CONDORCET (DROME)

La célestine est un peu plus répandue dans la nature que la strontianite. Elle accompagne, à l'état cristallisé, le gypse et le soufre natif dans les marnes tertiaires. En Sicile, particulièrement, elle est extraite comme un produit complémentaire de l'exploitation de ce dernier.

En France, on l'a signalée, depuis longtemps, dans les marnes de l'étage du gypse parisien où elle se présente en rognons fibreux de couleur souvent azurée (carrières de plâtres de Montmartre). A *Meudon*, elle tapisse des fissures au milieu des marnes.

Dans ce cas, M. de Lapparent a, depuis longtemps, supposé que l'ensemble des marnes qui la renferment pourrait résulter de la destruction du calcaire pisolithique supérieur, opérée sous l'influence d'actions chimiques qui auraient précédé le dépôt des argiles bigarrées.

Suivant M. Munier-Chalmas, la strontiane existe à l'état constant dans les marnes vertes et s'est concentrée :

1° Dans les marnes supérieures du gypse où elle vient directement de l'évaporation de l'eau de mer qui en contient toujours un peu ;

2° Dans les argiles à lignite où elle a été produite par réaction des pyrites décomposées sur le carbonate de strontiane préexistant dans le terrain.

La célestine a été signalée encore dans les marnes du miocène supérieur des environs de *Girgenti* (Sicile), et notamment à Favara près Licata [1] où elle forme de petites lentilles et des filets minces associés au gypse et accidentellement à la calcite, l'aragonite et l'opale.

Gîte du Rouet. — Un gisement plus important est celui qui est situé dans le ravin *du Rouet*, commune de Condorcet, arrondissement de Nyons (Drôme).

Le filon de strontiane sulfatée de *Condorcet* a été décrit par M. Lachat.

Le terrain est, suivant lui, formé, dans cette région, de couches allant du lias au tertiaire avec de nombreuses lacunes : c'est-à-dire d'oxfordien, de néocomien, de grès vert et de sidérolithique.

Dans un pli anticlinal des couches accompagné de fracture, se trouve un filon de célestine de 5 mètres de large contenant de la galène et de la blende, mais pas de pyrite ni de quartz ; cette célestine se présente, par suite, dans les conditions où l'on rencontre habituellement la barytine, accompagnant des minerais métallifères.

Dans les roches encaissantes du mur qui sont des marnes et argiles oxfordiennes, séparées, comme nous le dirons, presque partout du filon par un amas de gypse, on trouve fréquemment des boules géodiques de marne intérieurement tapissées de célestine. Au toit, dans des calcschistes qu'on a considérés comme du lias relevé par la fracture, la célestine forme de nombreuses veinules avec calcite cristallisée et blende jusqu'à 200 et 300 mètres du filon principal.

Au contact du filon et à son mur, se présente un important amas de gypse d'environ 50 mètres d'épaisseur paraissant résulter de l'action des eaux sulfureuses ayant déposé la strontiane sur les

[1] Coll. *École des Mines*, 1730. On trouve, dans les mêmes terrains, en veines irrégulières dans les argiles et associé au gypse, *le sulfate de soude*, qui forme l'objet d'une petite exploitation à Buon-Pensiero-Nadur.

calcaires encaissants. Il semble d'ailleurs y avoir, entre le gypse et la strontianite, une sorte de passage. Près du contact, le gypse est transformé en tuf empâtant de gros fragments anguleux de célestine inaltérée. Des efflorescences de sulfate de magnésie et de chlorure de sodium recouvrent souvent cet amas.

La strontiane sulfatée, qui forme la masse du filon, est, en général, très blanche et pure et ressemble un peu par son aspect à de l'anhydrite fibreuse. Elle s'en distingue aisément par ses caractères ordinaires, en particulier par la couleur rouge carmin qu'elle communique à la flamme.

Les boules qu'on rencontre dans les marnes oxfordiennes ont de $0^m,75$ à $0^m,20$ de diamètre; toute leur surface est étoilée par des veines de strontiane traversant la masse. Quand on les brise, on trouve toujours, à l'intérieur, une belle géode tapissée d'une fine épaisseur de sidérose rouge avec des scalénoèdres aigus de calcite, quelques rares cristaux de quartz et de la célestine fibreuse formant le remplissage principal.

L'intérêt de ce gisement est son allure nettement filonienne.

Comme il forme une roche fissurée au milieu d'épontes peu perméables, il livre encore aujourd'hui passage à une source chlorurée qui dissout, sur son passage, un peu de sulfate de strontiane.

C'est un fait dont on peut rapprocher celui, déjà signalé par nous ailleurs [1], de l'existence à *Bourbon-l'Archambault* (Allier) d'un beau filon de célestine, calcite, fluorine et galène, formant les épontes d'une source thermale chlorurée importante, dans la composition de laquelle on retrouve un peu de strontiane et de fluor.

La célestine a été signalée encore à l'état de minéraux isolés dans de nombreuses localités telles que :

Bex (Suisse); Dornburg près Iena (Prusse); Aust-Ferry, près Bristol (Gloucestershire); Retzbanya (Hongrie); Sernajagora (Russie); côte Quiaios et Buarcos à l'ouest de Coïmbra (Portugal); Conil et Montellano en Andalousie avec soufre natif cristallisé; lac Ervé; Vallée de Logan en Pensylvanie.

[1] *Ann. d. M.*, 1887.

Bibliographie du strontium.

1874. De Lapparent. — Sur l'âge des marnes strontianifères de *Meudon*. (*B. S. G.*, 3e, t. II, p. 593.)

1879. S.-M. Babcock. — Ueber den Celestin aus dem Muschelkalke von *Jühude* bei Göttingen. (*N. J. Min.*, 1879, p. 835. Stuttgart, 1879.)

1879. Fr. von Hauer. — Ein neues Vorkommen von Cölestin im *Banate*. (*Verhandlungen der KK. geologischen Reichsunstalt*. Vienne, 1879.)

* 1881. Lachat. — Sur le filon de célestine de *Nyons* (*Drôme*). (*Ann. d. M.*, t. XX, 6e livr.)

1881. Menzel. — Beschreibung der Strontianit Vorkommen in der Gegend von *Drensteinfurt*. (*Abhandlungen der K. preus. geol. Landes anstalt und Berg Academie zu Berlin*, année 1881, p. 125. Berlin.)

* 1882. V. Foullon. — Ueber das Strontianit Vorkommen in *Westphalen*. (*Verhandlungen der KK. geologischen Reichsanstalt*, nos 14-17, p. 346. Vienne, 1882.)

1883. Schalch. — Ueber ein neues Strontianit vorkommen bei *Wildenau*. (Leipzig, *Zitzungs berichte der Naturf gesell.*, p. 76.)

1891. Gayon et Blarez. — Sur l'emploi des sels de strontiane en médecine. (C. R.)

1892. Michel. — Sur quelques minéraux de *Condorcet* (Drôme) (Bull. Soc. Min., 11 févr. 92).

ALUMINIUM

Al ; Eq = 13,75 — P. at = 27,5.

L'aluminium est un métal extrêmement abondant à la surface de la terre, puisqu'il forme la base des feldspaths et des argiles et qui, soit par lui-même, soit par ses composés, entre dans un grand nombre d'industries.

Nous aurons à étudier successivement : 1° l'aluminium métallique avec ses minerais, la bauxite et la cryolite ; 2° les oxydes d'aluminium, rubis, saphir et émeri; 3° les aluns; 4° enfin, les argiles et les kaolins[1]. Nous donnerons, à propos de chacun de ces corps, ses principaux usages.

1° MINERAIS D'ALUMINIUM — BAUXITE ET CRYOLITE

Usages. — L'aluminium métallique, malgré la grande diffusion de certains de ses composés, a été, pendant très longtemps, un corps rare et n'est, à proprement parler, un métal industriel que depuis très peu d'années.

C'est, en effet, que le procédé ordinaire de la métallurgie par réduction des oxydes au moyen du carbone, qui s'applique si bien aux minerais de fer, échoue devant les argiles.

Découvert en 1827 par Wöhler, l'aluminium n'était connu qu'à l'état de poussière ou de globules très petits quand, en 1854, Sainte-Claire Deville arriva à l'obtenir en quantités notables par

[1] Rappelons que nous avons parlé déjà : page 411, de la *turquoise* (phosphate d'alumine) à propos du phosphore ; page 461, de l'*amblygonite* (phosphate double d'aluminium et de lithium) au chapitre du *Lithium*.

la réduction d'un chlorure double de sodium et d'aluminium au moyen du sodium. C'était un premier pas franchi. Dès 1858, la fabrication industrielle de l'aluminium commença à Salindres et aboutit, jusqu'en 1880, à une production annuelle de 2 400 kilogrammes vendus de 120 à 150 francs le kilogramme. Un second progrès a été réalisé tout récemment, lorsqu'en 1887, un chimiste américain, Castner, inventa un autre procédé chimique, partant du même principe, qui a permis d'abaisser le prix du kilogramme d'aluminium à 60 francs en 1889, à 20 ou 25 en 1890. En même temps, on commençait à fabriquer l'aluminium par des procédés électriques, et des usines spéciales se montaient à Froges (Isère), à Creil, à Neuhausen (chute du Rhin), etc... Aujourd'hui, la fabrication de l'aluminium est devenue suffisamment courante, et le prix a assez de tendance à s'abaisser pour qu'il y ait lieu de s'occuper plutôt des usages à trouver à ce nouveau métal que les sources d'où on pourra le tirer.

L'aluminium a des propriétés physiques et chimiques très remarquables. Sa densité est très faible (2,56, c'est-à-dire à peu près celle de la porcelaine). Il est très malléable, car on peut le réduire par le battage en feuilles extrêmement minces comme l'or et l'argent; il est ductile, tenace et surtout absolument inaltérable à l'air, même à un degré un peu élevé. Par contre, un de ses inconvénients est de fondre à 600° (contre 945° pour l'argent, 1054 pour le cuivre, 13 à 1400 pour l'acier) et, par suite, de ne pas garder assez de ténacité à une certaine température : ce qui empêcherait d'en faire des machines à vapeur.

Son usage se trouve tout indiqué lorsqu'on a besoin à la fois de légèreté, d'inoxydabilité et d'une certaine élégance; c'est ainsi que la lunetterie et les instruments d'optique en consomment, depuis longtemps, une assez grande quantité. On a proposé également d'en faire des services de table, des clefs, des instruments de chirurgie; on a déjà tenté de s'en servir pour les parties métalliques des ballons [1].

[1] Dans certaines branches d'industrie, les fabricants d'aluminium ont éprouvé quelques déboires et n'ont pas trouvé les débouchés importants qu'on avait espérés d'abord. C'est ainsi que l'on a affirmé récemment (voir *Nature*, du 11 décembre 1891) l'impossibilité de s'en servir pour conserver l'acide sulfurique ou même pour servir de récipients culinaires, l'aluminium, contrairement à ce que l'on avait cru jusqu'ici, étant

Une autre branche d'applications vient de ce que l'aluminium est, en métallurgie, un purificateur du cuivre et du fer. En Angleterre et aux Etats-Unis, les aciéries consomment, en conséquence, du ferro-aluminium ; en France et en Allemagne, de l'aluminium métallique.

La moindre proportion d'aluminium augmente la résistance, la durée et l'homogénéité de certains métaux, en particulier du bronze et du laiton. D'où l'usage des alliages d'aluminium.

Les *bronzes d'aluminium* sont employés pour la fabrication de tuyaux, coussinets, instruments de physique, etc... L'alliage ordinairement employé tient 10 p. 100 d'aluminium. Il possède, à résistance égale, un allongement supérieur à celui de tous les autres métaux sans en excepter l'acier. On a tenté d'en faire des câbles, des hélices, des doublages de navire, etc... A 80 p. 100 d'aluminium, l'alliage devient blanc et cassant; au contraire, à 5 p. 100, il est jaune d'or.

Le laiton d'aluminium est formé de bronze d'aluminium avec 33 p. 100 de zinc.

L'alliage « mitis » est un acier contenant de 0,05 à 0,1 p. 100 d'aluminium, qui, d'après son inventeur M. Ostberg, est à la fois très ductile et très dur[1].

Sans insister davantage sur les applications de l'aluminium, nous résumerons rapidement les méthodes, encore peu vulgarisées, qu'on emploie pour sa fabrication, afin de montrer quels sont les minerais que l'industrie nous demande.

Ces méthodes sont de deux natures : A. chimiques et dérivant du procédé Sainte-Claire Deville ; B. électriques, actuellement plus avantageuses et détrônant peu à peu les autres.

A. — MÉTHODES CHIMIQUES

Sainte-Claire Deville partait de la bauxite (alumine hydratée),

attaqué par l'acide sulfurique et même par l'eau bouillante, par l'acide tartrique, par les lessives de carbonate de soude, etc. Cependant cette attaquabilité a été ensuite niée. On fait actuellement (surtout en Allemagne) de grands efforts pour introduire les objets d'aluminium dans l'usage courant.

[1] On trouvera les renseignements récents sur l'aluminium dans un mémoire de M. Wickersheimer paru en 1890 dans l'*Encyclopédie chimique*.

la transformait en aluminate de soude par fusion au carbonate de soude, précipitait l'alumine par l'acide carbonique, chauffait l'alumine avec du sel marin et du charbon dans un courant de chlore de manière à obtenir du chlorure double d'aluminium et de sodium et réduisait celui-ci par le sodium en présence de la cryolite (fluorure double d'aluminium et de sodium) employée comme fondant.

Les minerais étaient donc la bauxite et la cryolite.

En 1882, M. Webster a tiré l'alumine de l'alun ordinaire, chauffé avec de la poix, puis dissous dans l'acide chlorhydrique.

Le procédé Castner (1887), appliqué à l'usine de l'Aluminium Company près Birmingham, a un principe analogue à celui du procédé Deville, mais en permettant de faire l'opération à 800° au lieu de 1500°; par suite, dans des vases en acier de dimensions relativement considérables. Le sodium est obtenu par l'action d'un charbon ferreux FeC^2 sur la soude caustique. Pour une tonne d'aluminium, il faut :

Sodium	2 800 kilogr.	Soude	20 000 k.
		Carbure de fer .	3 200
		Sel marin . . .	3 700
Chlorure double $2(NaCl)\ Al^2Cl^6$:	10 200 —	Alumine	5 000
		Chlore.	7 000
Cryolite	3 700 —		

Le procédé Netto, appliqué près Newcastle, a également pour particularité une fabrication plus économique du sodium. Après quoi, on fait agir le sodium sur la cryolite.

Le procédé Grabau, décrit récemment par M. Ichon, est analogue, sauf la substitution à la cryolite d'un fluorure d'aluminium obtenu en faisant réagir le sulfate d'alumine pur sur la cryolite naturelle.

B. — MÉTHODES ÉLECTRIQUES

Ces méthodes sont elles-mêmes de deux classes : 1° celles où la décomposition du minerai est due à l'énorme température développée par l'arc voltaïque qui jaillit entre les deux pôles d'un courant dynamo-électrique interrompu (procédés Cowles et Héroult);

2° celles où c'est principalement l'action électrique du courant qui agit (procédé Graetzel).

Dans le procédé Cowles (1887) on mélange de la bauxite, de l'émeri ou du corindon en morceaux avec des fragments de charbon ; on en fait un prisme carré de 1 mètre de long et de $0^m,75$ de côté, qu'on interpose entre deux électrodes, dans un creuset, avec des baguettes de cuivre ; l'alumine est dissociée par la chaleur et, l'oxygène étant absorbé par le charbon, le métal forme immédiatement un alliage avec le cuivre.

Dans le procédé Héroult appliqué à Neuhaüsen (Suisse) et à Froges (Isère), on fabrique de même un alliage, par un procédé analogue quoique un peu plus simple, en décomposant de la bauxite ou plutôt de l'alumine pure par la chaleur d'un courant de machine dynamo-électrique.

Le procédé Graetzel, appliqué à Hemelingen près Brême, permet de préparer : soit l'aluminium en partant du chlorure double, soit le magnésium extrait de la carnallite. Le minerai, mélangé avec du charbon en poudre dans un creuset où pénètre un pôle positif, est placé dans un fourneau électrisé négativement.

Avec le procédé Kleiner, on comprime de la bauxite en poudre de manière à en faire un creuset où l'on ajoute peu à peu de la cryolite en poudre que l'on fait fondre. L'électrolyse donne, dans ce bain fondu, de l'aluminium mis en liberté et du fluorure de sodium qu'on peut enlever ensuite par simple lexiviation.

A Froges (Isère), on opère industriellement sur un creuset amorcé d'abord avec de la cryolite, rempli ensuite progressivement avec de l'alumine pure en poudre. Dans ce creuset passe une des électrodes, la négative, en un métal quelconque ; l'autre, suspendue au-dessus, est en charbon. L'aluminium se dépose au fond du creuset.

L'alumine employée est achetée en Allemagne 1 fr. 40 le kilogramme, l'alumine naturelle ou bauxite étant trop souillée d'oxyde de fer et de silice, alors qu'il est important d'obtenir l'aluminium très pur en première fusion.

A Creil, au contraire (procédé Bernard), on prépare d'abord un fluorure d'aluminium en faisant agir l'acide sulfurique sur la fluorine, puis l'acide fluorhydrique obtenu sur de l'alumine pure ;

on mélange dans un creuset 30 à 40 p. 100 de ce fluorure avec 70 p. 100 de sel marin et de la cryolite; on amène à l'état de fusion ignée et on décompose par un courant. Le fluor passe au pôle positif, l'aluminium va au pôle négatif et se réunit dans une poche sous le creuset.

En résumé, nous venons de voir que les minerais nécessaires à la fabrication de l'aluminium étaient la bauxite, la cryolite et l'alumine pure. Avec les procédés électriques et lorsqu'on veut obtenir de l'aluminium pur, on est obligé d'employer presque uniquement l'alumine pure et de réserver la bauxite pour la fabrication du ferro-aluminium. Cette alumine, ainsi que les divers sels d'alumine utilisés (sulfate, sulfite, etc.), vient généralement de l'alun traité par un excès de carbonate de potasse, parfois du kaolin ou même de l'aluminate de soude obtenu au moyen de la bauxite et purifié par traitement à l'acide carbonique.

La production de l'aluminium peut être représentée par les chiffres suivants :

MINERAIS D'ALUMINIUM

ANNÉES	FRANCE		ILES BRITANNIQUES	
	Tonnes	Francs	Tonnes	Francs
1880	»	»	»	»
1881	»	»	»	»
1882	»	»	»	»
1883	15.200	17	13.700	19
1884	23.000	13	8.700	12
1885	19.000	13	9.200	10
1886	26.000	9	8.400	7
1887	20.500	8	4.300	6
1888	19.000	10	9.800	12
1889	19.000	9	9.300	15
1890	19.000	9	11.700	12

Comme autres sels d'aluminium extraits des mêmes minerais et utilisés dans l'industrie, nous citerons :

L'*alumine* proprement dite qui, en raison de son affinité toute particulière pour les matières colorantes, forme la base de la fabrication des laques ;

Le *sulfate d'alumine* (collage du papier, mordant sur étoffe) ;

Enfin le *sulfite*, employé, en raison de son extrême solubilité et de la facilité avec laquelle il dégage son acide sulfureux, dans la fabrication du sucre par défécation des jus de betterave. Le sulfite agit là, à la fois par l'acide sulfureux qui préserve le jus de la fermentation et par l'alumine qui précipite les matières albuminoïdes.

BAUXITE

La bauxite est une alumine hydratée où le fer peut remplacer l'aluminium comme élément isomorphe et qui contient, en moyenne :

Al^2O^3	Fe^2O^3	HO
40 à 80	0 à 20	15 à 10

Son emploi principal est, comme nous venons de le dire, la fabrication de l'aluminium ; mais on l'utilise, en outre, soit comme argile réfractaire, soit comme base de la préparation du sulfate d'alumine ou de l'alun.

Son gisement classique est situé dans les Bouches-du-Rhône, près de Mouriès, aux Baux-de-Provence ; mais elle est connue, de plus, en différents points du littoral circum-méditerranéen, depuis le Var jusqu'à l'Hérault[1]. On en a signalé : aux environs de Mende, dans la Lozère ; dans l'Ariège, à Péreilhes, entre le corallien et l'urgonien. Plus récemment, M. Augé a reconnu en Auvergne la présence d'une couche de bauxite reposant sur le gneiss et recouverte en partie par les basaltes, couche qui, aux environs de Madriat, Boudes, Saint-Hérent et Augnat, a été marquée e^3 par M. Fouqué sur la feuille de Mauriac. Hors de France, on en a exploité en Irlande, aux environs de Belfast ; à Mozzo, dans le Piémont ; dans le Wochein, en Autriche ; dans l'île de Naxos ; au Canada, etc... et, dans tous ces points, on s'est rendu compte qu'elle formait une couche beaucoup plus continue qu'on ne l'avait d'abord supposé.

Nous insisterons seulement sur le gisement de Provence en résumant les longues discussions géologiques auxquelles il a donné lieu.

[1] Saint-Chinian, Villeveyrac, etc.

La *bauxite de Provence* avait été signalée, dès 1821, par Berthier. Depuis, elle a été successivement décrite par Coquand en 1857, par Sæmann et Virlet d'Aoust en 1863, par Dieulafait en 1881, par Roule en 1885 ; puis, en 1886, par M. Collot qui paraît bien avoir précisé son âge et, plus récemment encore, par MM. Augé et Stanislas Meunier.

Les bauxites, exploitées entre les Baux et Mont-Pavon, forment un banc nettement interstratifié entre l'urgonien et le calcaire gris à cyclophores, banc rose, quelquefois blanc, de 6 mètres d'épaisseur.

Cette bauxite diffère des argiles en ce qu'elle ne se délaye pas dans l'eau et n'y forme pas une pâte liante. Elle a toujours une tendance à la structure pisolithique, tendance d'autant moins forte que la bauxite est d'une couleur plus claire et moins chargée de fer. Au Sud des Baux, certaines variétés sont formées de grains pisiformes composés de 60 p. 100 d'oxyde de fer et 30 p. 100 d'alumine et noyés dans un calcaire parfaitement spathique incolore.

On y a signalé la présence de 2 à 4 p. 100 d'acide titanique à l'état de rutile et de fer titané, d'un peu de corindon et d'apatite microscopiques ; en voici d'ailleurs trois analyses distinctes :

Alumine	78,10	69,30	43,20
Sesquioxyde de fer . . .	1,02	22,90	7,25
Silice et acide titanique.	5,78	0,30 4,40	34,40
Eau	15,10	14,10	15,15

C'est un fait remarquable, dans ces analyses, que la faible proportion de silice descendant parfois au-dessous de 4 p. 100 et qui suffirait à distinguer nettement la bauxite des kaolins et des argiles. M. Augé a d'ailleurs signalé la présence, dans des druses au milieu de la bauxite rouge, de bauxite d'un blanc de neige exclusivement formée d'alumine hydratée, qui constitue un minéral encore plus spécial.

Nous avons dit, plus haut, que la bauxite formait en Provence une couche d'âge bien déterminé, postérieure à l'urgonien, antérieure au cénomanien. Le fait a été mis en évidence par M. Collot qui l'a montrée s'étendant transgressivement sur les divers étages

de l'infralias à l'urgonien et recouverte de même par ceux qui vont du cénomanien au danien d'eau douce. C'est ainsi que, de l'Ouest à l'Est, on la rencontre successivement aux points suivants[1] :

A *Saint-Chinian* (Hérault), elle repose sur l'infralias et est recouverte par des formations d'eau douce rapportées au danien.

A *Villeveyrac* (Hérault), elle couvre des calcaires gris jurassiques, supérieurs à l'oxfordien, dans les anfractuosités desquels elle pénètre et est surmontée par les couches à physes de la Bégude (situées au-dessus du lignite de Fuveau). On peut la suivre là, d'après M. Augé, sur plus de 30 kilomètres de long.

Aux *Baux* mêmes, elle est entre l'urgonien et des couches du même âge qu'à Villeveyrac.

A *Allauch*, elle est exploitée par galeries entre l'aptien et les couches à Hippurites Dilatatus ;

Enfin, au *Revest*, l'intervalle se resserre ; car on la trouve entre l'aptien et le cénomanien.

L'existence, dans les terrains superposés à la bauxite, de galets de bauxite rencontrés par M. Collot, prouve d'ailleurs que la bauxite est bien de l'âge ainsi déterminé et non le résultat d'une intrusion postérieure.

Si l'on cherche à expliquer le mode de formation de ce minéral, on se trouve d'abord en présence d'une coïncidence remarquable : la liaison qui semble exister entre sa présence et l'existence d'une lacune dans les terrains ; de là à conclure que sa formation est liée à une période d'émersion et d'origine terrestre, il n'y a qu'un pas. C'est ainsi que, pour M. Dieulafait, la bauxite serait un produit de décomposition superficielle des granites, comparable au kaolin. Il est singulier, dans cette hypothèse, qu'on n'y trouve jamais de mica et que l'alumine prédomine à ce point sur la silice. En outre, quoique, dans certains cas, la lacune constatée corresponde à une émersion réelle, dans beaucoup d'autres elle n'est, en réalité, que le résultat d'une action mécanique, comme le montre, d'après M. Bertrand, la coupe suivante (fig. 88) prise aux environs de Toulon.

[1] Voir Collot. *B. S. G.*, 1887, p. 345.

Cette coupe, où l'on constate en BC une lacune du cénomanien correspondant à la bauxite, prouve, par la présence en A de blocs de cénomanien intermittents, que la disparition de ce terrain en B est simplement le résultat d'une action mécanique.

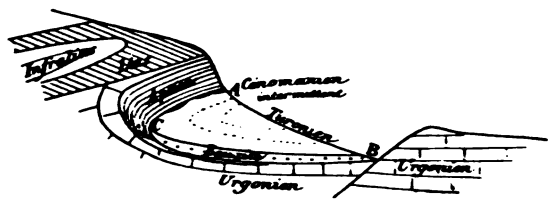


Fig. 88. — Coupe théorique montrant la disposition de la bauxite aux environs de Toulon, d'après M. Bertrand.

A notre avis, l'origine de la bauxite serait donc liée à un phénomène d'un autre genre, c'est-à-dire à des apports de sources thermales comparables peut-être, comme mode de formation, à ceux qui ont signalé en divers points l'âge sidérolithique et ayant emprunté leur alumine à des roches granitiques traversées.

Adoptant cette hypothèse, M. Stanislas Meunier a soutenu que la bauxite résultait de la décomposition, par le calcaire, de chlorure d'aluminium et de fer apportés par des infiltrations d'eau de mer à travers des crevasses. M. Augé a objecté la présence de la bauxite sur le gneiss, donc sans relation avec un calcaire, dans la région de Mauriac et, quoique M. Stanislas-Meunier ait invoqué dans ce cas (sans preuve d'ailleurs) la possibilité d'un transport postérieur à la formation, l'objection nous semble subsister. Nous ne chercherons donc pas à préciser la réaction chimique qui a produit la bauxite, et nous nous contenterons de signaler, comme confirmation de son origine hydrothermale, sa formation contemporaine, en même temps que la geysérite ou le carbonate de chaux, dans les régions de geysers du Yellowstone-park américain.

Au point de vue industriel, l'*exploitation de la bauxite* se fait, soit à ciel ouvert, soit par galeries. On paye 7 francs la bauxite brute au mineur ou carrier. Cette bauxite, rendue aux usines, vaut de 45 à 55 francs la tonne.

Pour préparer le sulfate d'alumine utilisé pour le collage de la pâte de papier et pour le mordançage des étoffes, on broie, dissout par l'acide sulfurique, précipite le fer et fait cristalliser [1].

[1] Le sulfate d'alumine s'extrait de même du kaolin.

Bibliographie de la bauxite.

1857. Coquand. — Traité des roches, p. 212.

1861. Sainte-Claire Deville. — Analyse d'une bauxite du *Paradon*. (*Ann. Ch. et Ph.*, 3e, t. LXI, p. 309.)

1865. Damour. — Sur un hydr. d'alumine ferrugineux de l'île d'*Egine* (Grèce). (*B. S. G.*, 2e, t. XXII, p. 413.)

1865. Salmann. — Sur la bauxite des *Baux*. (B. S. *G.*, 2e. t. XXII, p. 416.)

1865. Virlet d'Aoust. — Sur le minerai de fer alumineux de *Mouriez* (dit aussi des Baux). (*B. S. G.*, 2e, t. XXVI, p. 618.)

1869. Daubrée. — Sur les gisements de bauxite dans l'*Hérault* et l'*Ariège*. *B. S. G.*, 2e, t. XXVI, p. 915.)

1870. Fabre. — Sur les failles et fentes à bauxite dans les environs de *Mende*. (*B.* S. *G.*, 2e, XXVIII, p 516.)

1872. Collot. — Sur la bauxite de *Saint-Chinian* (*Hérault*). (*B. S. G.*, 3e, t. III.)

1879. Bischof. — Bauxit Vorkommen in *Deutschland*. (*Dingler*, 233, p. 465.)

1880. Collot. — Sur la bauxite d'*Ollières*. (*Descr. géol. des environs d'Aix en Provence*.)

14 novembre 1881. — Dieulafait. — Sur la bauxite de *Provence*. (C. R., t. XCIII, p. 804.)

1885. Roule. — Sur le terrain lacustre ancien de *Provence*. (*Ann. des Sc. géol.* et C. R., 7 février 1887).

10 janvier 1887. Collot. — Sur l'âge de la bauxite. (C. R.)

1887. Collot. — Age des bauxites du Sud-Est de la France. (*B. S. G.*, 3e, t. XV, p. 331.)

1887. Daubrée. — Eaux souterraines anciennes, p. 96.

1887. Augé. — Note sur la bauxite. (*B. S. G.*, 3e, t. XVI, p. 345.)

1888. Paul Gourret et Achille Gabriel. — La bauxite et les étages qui la recouvrent dans le massif de *Garbaban*. (C. R., t. CVI, p. 1551.) 1889.

Stan. Meunier. — Réponse à M. Augé. (*B. S. G.*, 3e, t. XVII, p. 61.)

CRYOLITE

Usages. — La cryolite est un fluorure double d'aluminium et de sodium contenant :

Alumine	Fluor	Soude
13	54	32

On l'emploie, comme nous l'avons vu, dans la fabrication de

l'aluminium ; on l'utilise également, et c'est même son usage principal, pour la fabrication de la soude et, dans les savonneries, pour la préparation des lessives alcalines. La méthode, usitée en France depuis 1855, consiste à faire bouillir la cryolite finement pulvérisée avec un lait de chaux. On obtient du fluorure de calcium insoluble, et de l'aluminate de soude, soluble avec excès de soude, qui donne des savons alumineux retenant une quantité énorme d'eau. Le prix très élevé de la cryolite, qui est aujourd'hui en France de plus de 600 francs la tonne, fait qu'on recherche activement sa reproduction artificielle.

Gisements. — Le gisement à peu près unique de cette substance et qui en a jusqu'ici le monopole industriel, est situé dans le Groenland oriental, à *Evigtok*, près la baie d'Arksut.

Exploité depuis la fin du XVIIIe siècle pour la préparation de la soude, il a été, depuis 1850, l'objet de travaux importants, lorsque le professeur Thomsen de Copenhague eût trouvé le moyen d'en extraire la soude au moyen de la chaux. Vers 1870, les carrières fournissaient environ 20 000 tonnes de soude, ayant alors une valeur de 1 500 000 francs. Les chiffres suivants résument d'ailleurs la production.

En 1856	343	tonnes	de cryolite.
1866	132 34	—	—
1870	40 671	—	—
1873	17 358	—	—

Le gisement d'Evigtok se compose d'un filon d'environ 100 mètres de long, de 1 mètre d'épaisseur au maximum, encaissé dans le gneiss et contenant, avec la cryolite, de l'étain, du wolfram ; en outre, de la fluorine, de la pyrite, de la galène, de la sidérose en cristaux disséminés. La cryolite semble donc là jouer le même rôle qu'affecte plus habituellement un autre fluorure, la fluorine, celui d'une gangue de filon, d'une trace subsistante des minéralisateurs qui ont apporté l'étain.

Dans les autres gisements connus, elle se présente dans des conditions analogues : aux environs de *Miask*, dans l'Oural, elle est associée avec de la topaze, de la fluorine et de la chiolite (autre fluorure double d'aluminium et de silicium).

En *Californie*, M. Lacroix nous en a signalé une veine de quelques centimètres d'épaisseur dans la granulite recoupant elle-même la granite.

2° OXYDES D'ALUMINIUM :

CORINDON, RUBIS, SAPHIR, ÉMERI

Usages et reproduction artificielle. — L'alumine cristallisée constitue, à l'état de corindon, rubis, saphir, topaze orientale, *les gemmes orientales.* Mélangée à de l'oxyde de fer, elle forme *l'émeri,* employé à cause de sa dureté pour user et polir le fer, les cristaux naturels, le verre, les glaces, l'acier, etc., utilisé en particulier pour la fabrication du « papier de verre » qui n'est autre chose que du papier imprégné de colle forte, et saupoudré d'émeri.

L'alumine cristallisée qui est, après le diamant, le plus dur des minéraux, forme : lorsqu'elle est incolore, le corindon; lorsqu'elle est colorée en rouge par un peu de chrome, le rubis; lorsqu'elle est bleue, le saphir; jaune, la topaze orientale; pourpre, l'améthyste orientale.

Le rubis est, lorsqu'il atteint une certaine dimension, la pierre précieuse la plus chère de toutes ; un beau rubis de 5 carats (environ 1 gramme) vaut le double du prix d'un diamant de même poids ; s'il arrivait à 10 carats, il vaudrait le triple.

Au contraire, les petits rubis où l'on implante les pivots des montres de précision, et tels que ceux fabriqués aujourd'hui artificiellement, sont peu appréciés.

Le mode de cristallisation naturelle de l'alumine paraît être de deux sortes diverses correspondant à deux catégories de gisements : 1° action minéralisatrice du fluore, du chlore, du bore, etc., dans les granulites ; 2° réaction du carbonate de soude sous pression dans les terrains métamorphiques, calcaires cristallins, dolomies, etc...

Nous commencerons par rappeler les procédés de synthèse artificielle qu'on peut rattacher à des principes analogues, et qui ont,

en outre, cet intérêt d'être entrés récemment dans une phase industrielle.

Sainte-Claire Deville a reproduit le corindon en décomposant à haute température le fluorure d'aluminium par l'acide borique dans un creuset de charbon ; Ebelmen, en fondant l'alumine avec un excès d'un dissolvant volatil à haute température (borax, carbonate de baryte ou carbonate de soude) ; M. Friedel, tout récemment, en faisant agir sur l'alumine une dissolution de carbonate de soude à haute pression ; M. Stanislas Meunier, en décomposant le chlorure d'aluminium par le zinc ou le magnésium en présence de la vapeur d'eau, etc...

Enfin, le procédé presque industriel de MM. Frémy et Verneuil, communiqué à l'Institut le 12 novembre 1890, consiste à faire agir simultanément le fluorure de barium et le carbonate de potasse sur l'alumine, en présence de quelques millièmes de bichromate de potasse ayant pour but de donner la couleur rouge, à la température de 1350°. Ils ont obtenu ainsi des cristaux atteignant un tiers de carat et susceptibles d'être taillés, mais avec un prix de revient sensiblement pareil à celui du rubis naturel.

Gisements. — Les gisements où l'on exploite, en général, le rubis et le saphir sont, comme pour le diamant autrefois, presque toujours des alluvions de rivière ; nous insisterons tout d'abord sur quelques gîtes qu'on peut considérer comme originels et qui présentent, par suite, un plus grand intérêt géologique : 1° dans des granulites ; 2° dans des terrains métamorphiques.

Comme *gîtes dans les granulites*, on peut citer probablement la plupart de ceux de l'Inde, du Thibet, de la Chine, des monts Ourals, dont la désagrégation superficielle isole les gemmes. C'est le cas, en particulier, à Carnatic et au Malabar où l'on trouve du corindon adamantin (c'est-à-dire opaque), ou translucide avec un grand nombre de clivages faciles. Dans l'Inde, le corindon, le rubis et le saphir font partie des satellites habituels du diamant (rattaché par nous aux granulites) : ainsi, à Golconde et à Bellary où M. Chaper en a trouvé en abondance [1]. A Ceylan et au Pégu, les

[1] On peut remarquer, par contre, qu'au Brésil où le diamant se trouverait, d'après M. Gorceix, dans de vrais filons de quartz, on trouve, avec lui, les minerais du titane assimilables à ceux de l'étain et pas de corindons.

phirs et rubis semblent également provenir de roches cristal-
nes. A Mozzo, en Piémont, le corindon est engagé dans un
ldspath altéré qui paraît résulter de la décomposition d'une gra-
ılite.

Enfin, les mines de l'Oural dont nous avons parlé dans un autre
ıapitre[1] rentrent dans la même classe. Nous avons dit que, dans
s monts Ilmen, les corindons et saphirs se trouvaient dans des
ons de granulite à grain fin traversant le gneiss et atteignaient
rfois jusqu'à 30 centimètres.

Comme types de *corindon dans des dolomies*, on peut citer ceux
ı Saint-Gothard, de Brunnen dans le Haut-Valais et de quelques
ints des Etats-Unis. A l'état microscopique, ils sont assez fré-
ıents dans les cipolins, en cristaux invisibles à l'œil nu.
. Lacroix en a signalé récemment dans un cipolin de l'Ariège
ı ils sont associés avec du spinelle (Mgo Al^2O^3), du rutile vio-
t (TiO^2) et de la chondrodite (8 Mgo, 3 SiO^2).

Au point de vue industriel, il y a lieu d'insister sur les *gise-
ents d'alluvions*. Les plus beaux saphirs viennent aujourd'hui
Ava et de Pégu; les variétés pâles sont trouvées dans les sables
s rivières à Ceylan; on en a également signalé dans l'Oural, en
vers points des Etats-Unis et même près du Forez, en France.
Les rubis se trouvent dans les mêmes conditions, à Ceylan, à
égu, en Sibérie, etc. Depuis quelques années, on a entrepris de
s exploiter sur une grande échelle, en Birmanie, puis à Cey-
n.

A *Ceylan*, les gemmes se présentent dans un ancien dépôt d'allu-
ons, nommé *nellan*, qui est souvent entre 4 et 7 mètres de pro-
ndeur. Il consiste en galets de granite, gneiss et autres roches
ciennes empâtés dans l'argile. Au-dessus, vient une croûte
re de quelques centimètres d'épaisseur nommée *Kadua* qui, dans
rtains points, protège le nellan au-dessous contre l'action des tor-
nts; le tout est recouvert de graviers récents. Dans le nellan,
y a des poches, nommées par les indigènes pieds d'éléphants,
les gemmes se concentrent. La recherche se fait comme celle
s diamants d'alluvions et est peu encouragée par le gouverne-

[1] Page 247.

ment, parce qu'elle détourne la population d'occupations plus sédentaires. Elle est d'ailleurs, en somme, peu fructueuse.

Les gemmes paraissent provenir des montagnes de roches cristallines qui abondent à Ceylan.

Les mines de corindon, rubis et émeri de Kornilowsk en Sibérie, ont été décrites par Zerrener[1] :

Kornilowsk se trouve à 9 verstes du gite de Mursinsk en Sibérie orientale, décrit par de Humboldt. Les rubis sont exploités dans une fosse de quelque cent mètres de long et de 20 à 30 mètres de large, où l'on trouve en même temps beaucoup de corindons, des saphirs et quelques topazes. Les cristaux de corindon sont cassés suivant les faces de clivage et roulés. Leur aspect extérieur est celui de fragments d'argile rougeâtre, souvent cimentés ensemble par une boue ocreuse. Quoique le terrain ne contienne pas de diamants, ils présentent quelques égratignures qui prouveraient, dès lors, l'existence de corindons de dureté inégale, puisque le diamant est le seul corps plus dur que le corindon.

Bibliographie.

1873. Genth. — Corundum. *Am. philos. Society*, t. XIII, p. 361.

1874. Jenas. — On the occurrence of sapphires and rubies in situ with corundum at the Culsagee Corundum mine. *Q. J. g. Soc. Lond.*, t. XXX, p. 303.

1879. Sella. — Sul felispatho corindonifero del *Biellese*. (*Sc. dei Lincei*, 3e série, t. III, p. 229.

1883. Fergusson. — Gold, gems and pearls in *Ceylon* and Southern India.

1884. Wiesmann. — Korund in graphit. *V. kk. g. R. Autriche*, p. 150.

1884. La Touche. — Les mines de saphirs de *Kachemire*.

ÉMERI

L'émeri[2] est employé : avec de l'eau, pour le travail des pierreries ; avec de l'huile, pour celui des métaux. Sa couleur grise lorsqu'il est en poudre, fait qu'on le falsifie souvent au moyen de substances grises, par exemple de scories de plomb.

On en distingue, dans le commerce, trois sortes principales :

[1] *B. u. H. Z.*, 16 avril 1866, p. 129.

[2] Voir plus haut, page 601.

° l'émeri des Indes orientales, roche micacée renfermant des ames de talc blanc et des grains de fer oxydulé ; 2° l'émeri d'Anleterre (c'est-à-dire de Jersey), beaucoup plus grenu que le précéent, et 3° l'émeri de Smyrne intermédiaire. Une usine à émeri xiste, depuis quelques années, en Bretagne.

Les gisements de l'émeri sont comparables à ceux du corindon. Ceux, très connus, de *Naxos*, en Grèce, sont situés dans des alcaires et des dolomies saccharoïdes. Le minerai y est composé e :

Alumine	Fer	Silice
80	4	3

Les mines ont été, jusqu'en 1852, affermées à une société anglaise ui payait un droit de 70 francs par tonne. A ce moment, le gouernement grec mit en adjudication le droit d'extraire 4 000 tonnes ar an, moyennant 150 francs la tonne [1].

La préparation de l'émeri consiste à broyer d'abord la pierre à aide de moulins d'acier et à la délayer dans l'eau pour séparer es grains de diverses grosseurs. Après une heure de repos, l'eau st jetée avec la poussière qu'elle tient en suspension et qui serait rop ténue. Ensuite, en délayant et laissant déposer plus ou moins ongtemps, on obtient des émeris de diverses grosseurs.

L'émeri de *Smyrne* provient surtout de Gumuch-Dagh près l'Ephèse; il se trouve, comme ceux de Naxos et généralement de 'Archipel, dans un calcaire saccharoïde.

Un gisement remarquable a été signalé par M. Jackson aux *Etats-Unis* [2]. Il fait partie d'un banc situé dans le territoire de la ville le Chester, dans le Hampdenshire, au milieu de l'Etat de Massachusetts. Son épaisseur varie de 1 à 3 mètres, et il a été suivi sur une longueur de 7 kilomètres. Il est intercalé dans les schistes talqueux ; on avait commencé par l'exploiter en le prenant pour du fer magnétique; mais, comme on le trouvait trop réfractaire, on le mélangeait avec du carbonate de fer et de l'hématite. Une des parties du gisement, dite de la montagne du Sud, est, en effet,

[1] *Ann. d. M.*, 1852, t. I, p. 604 et t. II, p. 609.

[2] *Sillimann's Journal*, t. XL, p. 112 et 113 ; t. XLII, p. 83 et 107 ; cf. *Ann. des M.*, 1868, 6e, t. XIV, p. 320,

assez fortement mélangée de fer; mais l'émeri de la montagne du Nord est plus pur que les meilleurs échantillons de Naxos.

On y trouve, outre le corindon qui existe en veines de 2 à 3 centimètres, le diaspore, l'indianite (anorthite), le masonite, la brookite, le biotite, la tourmaline, le fer titané et l'oxyde magnétique, compagnon inséparable du corindon, mais ici plusabondant que dans les autres gisements de Naxos, Samos, Ephèse, Kulah, etc.

On a, en outre, signalé de l'émeri en *Italie*, dans l'ancien duché de Parme; en *Espagne*, près de Ronda dans le royaume de Grenade; à Ochsenkoff, en *Saxe*, dans les micaschistes; au *Pérou*, etc.

3° ALUN

Usages. — Les aluns du commerce sont des sulfates doubles d'alumine, de potasse ou d'ammoniaque dont les compositions sont représentées par les formules suivantes :

$$KO\,SO^3 + Al^2O^3,\,3\,SO^3 + 24\,HO$$
$$Az\,H^4O\,S\,O^3 + Al^2\,O^3,\,3SO^3 + 24\,HO$$

L'alun est surtout employé dans la papeterie et la mégisserie, dans la teinture, dans la fabrication des cuirs, dans la médecine. On s'en est aussi servi pour clarifier les eaux bourbeuses.

La consommation d'alun en France peut être évaluée à 6 000 tonnes; l'Angleterre consomme et exporte de 15 à 20 000 tonnes; nous manquons de chiffres pour les autres pays.

Gisements. — On extrait l'alun de plusieurs produits naturels qui sont :

1° L'*alunite*, sous-sulfate de potasse et d'alumine contenant 57 p. 100 d'alun ordinaire et rendu insoluble par sa combinaison avec un excès d'alumine hydratée. Une calcination modérée, suivie d'un lessivage et d'un mélange avec du sulfate de potasse de Stassfurt, donne de l'alun. Les gisements d'alunite sont les plus réellement importants.

2° Les *schistes alumineux* pyriteux de Picardie, de Liège, de Suède. Ce sont généralement des schistes ampéliteux du cambrien

ou du silurien[1]. Quand on les grille, la pyrite donne de l'acide sulfurique formant du sulfate d'alumine, auquel il suffit d'ajouter du sulfate de potasse, provenant en général du traitement de la kaïnite de Stassfurt par l'acide sulfurique. En Suède, le feldspath de la roche fournit la potasse nécessaire.

3° Le *kaolin*, traité par l'acide sulfurique, donne également du sulfate d'alumine qu'on peut additionner de sulfate de potasse.

GISEMENTS D'ALUNITE DE LA TOLFA, ETC.

L'alunite a pour composition $KOSO^3 + 3\,(Al^2O^3SO^3) + 6\,HO$. C'est une substance blanche, quelquefois rosée, cristalline, rarement cristallisée (système ternaire), de densité 2,6 à 2,75 et de dureté 5.

Les gisements de ce corps sont toujours placés au milieu de trachytes, formant, dans ces roches, des veines qui résultent sans doute de leur métamorphisme local. On en trouve dans toutes les régions où les trachytes sont développés : massif du Siebengebirge, Hongrie, Caucase arménien, mont Dore, île de Milo, massif du Vésuve et Ischia; en France, on en exploite un peu à Madriat, près d'Issoire; mais les gisements les plus importants, que nous décrirons seuls, sont ceux de la Tolfa, dans la campagne Romaine.

Historique. — L'alunite était exploitée par les Romains qui la tiraient presque exclusivement de l'Asie Mineure pour la fabrication de l'alun.

Après la prise de Constantinople (1453), les mines de la Tolfa, dans la campagne de Rome, furent découvertes par un gentilhomme vénitien fugitif qui connaissait les gîtes de l'Asie Mineure.

Ces gîtes, qui ont fait longtemps partie du domaine pontifical, alimentent encore aujourd'hui les mines les plus importantes d'alun.

[1] Les schistes alunifères de Suède et Norvège sont dans le scandinavien (silurien inférieur).

Description des gisements. — Les gisements sont situés dans le voisinage des villages de la *Tolfa* et de l'*Allumiere*, au-dessus de Civita-Vecchia et concentrés dans la formation trachytique qui recoupe les terrains éocènes et miocènes de l'Italie centrale.

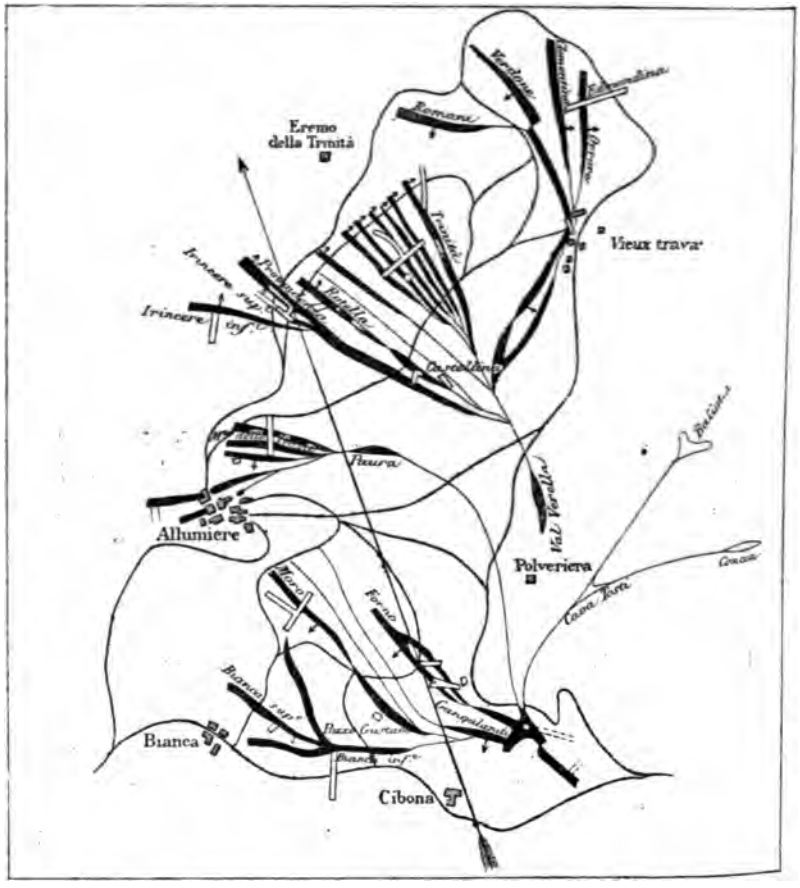


Fig. 89. — Carte des filons d'alunite de la Tolfa et de l'Allumiere.
Echelle au $\frac{1}{3000}$.

L'alunite (fig. 89) forme une série de filons de 1 à 15 mètres de puissance, présentant 2 orientations principales : Nord 10° à 30° Ouest : Nord 30° à 40° Est.

Accessoirement, on trouve aussi des orientations voisines de la ligne Est-Ouest : Nord 65° à 70° Ouest.

Les filons se groupent, en effet, en faisceau comme s'ils étaient le produit d'un étoilement de retrait du trachyte.

On les divise en 4 groupes :

1er *groupe :* Cave-Vecchie, Clementina, Verdone, Romani.

2e *groupe :* Valperella, Trinita, Rotella, Providenza, Trincere, Cava-Grande.

3e *groupe :* Monte delle Grazie, Paura.

4e *groupe :* Gangalandi, Forno, Bianca.

Le trachyte de la Tolfa a, en grand, une sorte de structure zonée : on peut distinguer une première zone à mica blanc, une seconde à mica ferrugineux, etc. L'alunite en filons recoupe ces différentes zones. Souvent elle est accompagnée de kaolin ; souvent aussi, on trouve de l'alunite sans kaolin, ou réciproquement.

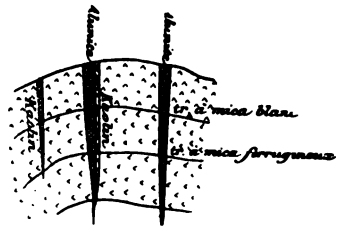


Fig. 90. — Coupe théorique à la mine d'alun de la Tolfa.

L'alunite, dans ces filons, est tantôt entièrement blanche, tantôt rosée, parfois absolument rouge. Lorsqu'on examine la nature du trachyte au voisinage de ces diverses variétés, on se rend compte de la raison de ce phénomène. Les zones successives de trachyte diffèrent, comme nous l'avons dit, par la nature de leurs micas : blancs à la partie supérieure ; plus bas, ferrugineux. C'est la nature seule de ces micas, qui influe sur la couleur de l'alunite. Celle-ci est blanche près des trachytes à micas blancs ; rose, près de ceux à micas ferrugineux : phénomène qui se reproduit pour les kaolins, par exemple à la Cava-dei-Romani, aux Cave-Vecchie. Il est, dès lors, permis d'en conclure que l'alunite s'est formée postérieurement à ces bancs de trachyte par l'arrivée de sources sulfureuses dans des fentes de retrait de la roche. L'acide sulfureux a donné de l'acide sulfurique qui, par décomposition des feldspaths, a produit du kaolin d'abord, de l'alunite ensuite. Le mica a été, en même temps, attaqué. Quant au quartz, il est resté dans la roche, en sorte que le produit final a été un mélange d'alunite avec du quartz, soit microscopique lorsqu'il provenait d'une précipitation chimique, soit en grains visibles à l'œil nu lorsqu'il résultait sim-

plement de petits grains préexistants dans le trachyte. Il a pu d'ailleurs se déposer, à l'état géodique, de l'alunite pure et du quartz cristallisé, soit par réouverture, soit par simple sécrétion.

Au point de vue industriel, la conclusion de cette hypothèse est évidemment que les filons, étant de simples fentes de retrait du trachyte, doivent s'appauvrir et se coincer en profondeur. C'est ce que l'on constate, en effet, dans la pratique.

Exploitation. — Les gîtes de la Tolfa sont, comme nous l'avons dit, exploités depuis plusieurs siècles. Aujourd'hui, ils sont fort réduits ; la proportion d'alunite restante ne paraît plus guère pouvoir être évaluée au-dessus de 2 à 300 000 tonnes.

D'autre part, l'alun romain n'est plus estimé, par rapport à ceux des autres sources, au même degré que jadis. Sa supériorité tenait, en effet, à ce qu'il ne contenait pas d'acide sulfurique comme l'alun des schistes alumineux et qu'il ne présentait pas par suite les mêmes inconvénients pour la teinture. Actuellement la kaïnite de Stassfurt donne du sulfate de potasse naturel et par suite un alun moins acide que celui qu'on obtenait autrefois. Enfin, on a constaté que les aluns de soude avaient presque les mêmes qualités que ceux de potasse : ce qui a nécessairement réduit le marché des premiers.

Fabrication de l'alun. — L'alunite est très difficilement attaquable par l'acide sulfurique ; pour la transformer en alun, on la calcine après l'avoir pulvérisée. Tout d'abord, l'eau d'hydratation se dégage, on constate qu'elle a disparu quand l'alunite en poussière devient fluide comme un liquide. Si on poursuivait alors, l'acide sulfurique commencerait à s'éliminer ; si on arrête au contraire, on a un sel déshydraté attaquable par l'acide sulfurique et qu'il suffit de mélanger avec du sulfate de potasse et de l'acide sulfurique pour obtenir de l'alun.

Une tonne d'alunite, avec 20 p. 100 de sulfate de potasse et 1 tonne d'acide sulfurique, donne 2 tonnes d'alun cristallisé.

Prix de revient. — La roche qu'on extrait de la mine étant loin d'être exclusivement composée d'alunite, il faut compter, en pra-

e, une tonne et demie de minerai extrait pour une tonne un. Les dépenses sont :

Extraction du minerai et transport à l'usine	12 fr.	60
Fabrication de la poudre, y compris chargement. . .	4	50
Frais de surveillance, ingénieur chimiste, laboratoire.	1	20
Frais d'expédition à Civita-Vecchia, sans emballage. .	7	00
Commission, perte sur escompte et timbre, etc. . . .	4	00
Frais généraux de la direction	1	50
Frais généraux d'administration	5	00
Coût de la poudre rendue à la fabrique d'alun. . . .	31	80
Comme il faut 1150 kilogr. de poudre pour faire une tonne de poudre calcinée, on a une perte de. . . .	5	40
Prix de revient de la poudre calcinée	41	20
150 kilogr. de charbon pour la calcination.	6	00
Main-d'œuvre pour la calcination.	2	00
500 kilogr. acide sulfurique à 50°, à 50 fr.	25	00
200 kilogr. charbon de terre, à 40 fr.	8	00
Main-d'œuvre	9	00
Sulfate de potasse.	43	00
	134 fr.	20

roduisant 1 600 kilogr. d'alun :

La tonne est donc de	83 fr.	87	à Civita-Vecchia.
Frais de mise à bord.	2	00	
Frêt et assurance.	20	00	
Frais généraux, fabrique	2	00	
	107	87	
Intérêts et amortissement du capital en 10 ans.	13	60	
TOTAL	121 fr.	47	

Le prix de vente est de 150 à 160 francs en Angleterre.

La production a été :

En 1883, de 8 530 tonnes de minerai brut, donnant 1 200 tonnes alun; en 1884, de 1 650 tonnes.

Les mines produisent, en outre, au moyen de déchets traités par acide sulfurique, 7 à 800 tonnes de sulfate d'alumine qui entrent ans la fabrication des papiers. Mais ce dernier produit supporte fficilement la concurrence des Allemands qui en livrent à Milan our 100 francs la tonne ; le sulfate d'alumine est fabriqué à Milan vec de l'hydrate d'alumine importé d'Allemagne : on en produit nviron 100 tonnes par an.

Pour terminer, nous donnons, d'après M. Fuchs, un cubage approximatif du minerai restant dans les mines de la Tolfa :

		Assuré	Probable
Castagnetto	Trincere	14 000 t.	16 000 t.
	Rotella	15 000	20 000
	Providenza	3 000	40 000
	Groupe des Porri	7 500	52 000
	Trinità	5 000	35 000
	Posaccio	5 000	»
	Divers	Mémoire	
		49 500 t.	162 000 t.
Forno		24 000 t.	48 000 t.
Gustave		20 000	30 000
Delle Grazie		6 000	60 000
Cave-Vecchie (Cava grande, Verdone, Bianca, etc.)		Mémoire	
		50 000 t.	138 000 t.
Total		100 000 t.	300 000 t.

Bibliographie.

1816. Collest Descostil. — Mémoire sur les alunières de la Tolfa.
1848. Coquand. — Sur les alunières de la Toscane. (2e, t. VI, p. 91.)
Revue de géologie. (*Ann. d. M.*, 7e, t. XVII, p. 116 et p. 290.)
1880. Vialla. — (*Ind. Min.*, 2e, t. IX, p. 799.)
Fuchs. — Notes de voyage inédites.
1886. Lotti et Busatti. — Brevi Considerazioni Sulle trachitti della Tolfa. (*Atti della Soc. toscana di Sc. nat.*, t. V, p. 99.)

Comme autres gisements d'alunite, nous citerons seulement ceux des terrains volcaniques des environs du Vésuve à *Bagnioli* et *Ponticelli* qui produisent environ 1 400 tonnes d'alun potassique[1].

4° — ARGILES ET KAOLINS

Constitution chimique des argiles en général. — Les silicates d'alumine hydratés, connus sous le nom d'argiles, kaolins, etc...,

[1] Cf. 1881. Szabo. — Alunite de Tokay (Hongrie). *Assoc. franç. algér.*
Voir également sur l'alunite : 1886. Guyot, l'alunite. (*Cuyper*, t. XIII, bulletin.)

nt utilisés dans l'industrie pour la fabrication des briques, pote-
s, matériaux réfractaires, faïences, porcelaines.

Leur composition chimique est assez variable et l'on a eu
elque peine à les spécifier minéralogiquement. Néanmoins,
Le Chatelier y est parvenu récemment en étudiant leur tem-
rature de déshydratation, c'est-à-dire en déterminant le moment
, lorsqu'on les chauffe, il se produit un ralentissement dans
lévation de température; il est arrivé ainsi à les classer en
ıq catégories distinctes dont deux seulement, les halloysites et
ı kaolins, ont une réelle importance et qui ne présentent géné-
lement pas de mélanges entre elles :

1° Le premier groupe, celui des *halloysites* est, de beaucoup, le
ıs abondant; il comprend la totalité des argiles sédimentaires
la majeure partie des argiles chimiques. Nous citerons :

L'argile réfractaire de Forges (Seine-Inférieure) et de Bolène
aucluse), l'argile plastique de Gentilly (Seine) ;

Les halloysites d'Angleur (Belgique), de Russie, de Miglos
riège), de Laumède (Dordogne), de Huelgoat (Finistère), de Bré-
ıil (Eure), le savon blanc de Plombières, les bauxites, etc.

Les argiles sédimentaires sont formées, d'après les travaux de
Schlœsing, par un mélange complexe de quartz, de silicate
ılumine cristallisé et d'argile colloïdale.

Les argiles chimiques ont, au contraire, après départ de l'eau
gométrique à 250°, une composition très régulière représen-
ı par la formule : $2SiO^2$, $Al^2\ O^3$, 2HO + Aq qui est celle des
olins, c'est-à-dire qu'une fois débarrassées de leur quartz en
cès, toutes les argiles chimiques et les kaolins ont la même
mposition. Ces argiles sont d'ailleurs cristallisées en paillettes
laties.

Les bauxites siliceuses, que nous avons étudiées dans un cha-
re précédent[1], peuvent se rattacher à ce premier groupe, mais
es contiennent toujours de l'alumine libre, mise en évidence
ıne manière très nette par la loi d'accroissement de la tempé-
ture, et cette alumine peut devenir prépondérante jusqu'à for-
ır toute la masse.

[1] Page 595.

2° Le deuxième groupe est celui des *kaolins* dont la formule chimique est $2SiO^2$. Al^2O^3. $2HO$ — Aq. mais qui se distinguent des halloysites par l'action des acides après déshydration et par un dégagement de chaleur à 100°.

Puis viennent des types moins répandus :

3° Les *allophanes* comprenant un petit nombre d'argiles de Saint-Antoine (Oise), de Vizé, de l'Utah (Amérique), etc., dont la formule est SiO^2, Al^2O^3, Aq.

4° Les *pyrophyllites* (type : Beresow dans l'Oural) dont la formule est $4\ SiO^2$. Al^2O^3. HO.

5° Les *montmorillonites*, de formule $4SiO^2$, Al^2O^3, HO + Aq. mais généralement impures. Dans ce groupe rentrent la stéargilite de Poitiers (Vienne), les argiles smectiques de Reigate (Angleterre) et de Styrie.

Toutes les argiles sont le résultat, plus ou moins direct, plus ou moins ancien, de la décomposition des feldspaths du granite, décomposition qui a pu, soit se produire sur place, soit être accompagnée d'un transport et d'une concentration sédimentaires. Il en résulte qu'au fond de beaucoup de bassins à parois de roches cristallines, on trouve des couches argileuses, parfois propres à la fabrication des matériaux réfractaires, comme c'est le cas par exemple en Auvergne, à la base du tertiaire de la Limagne. Il est des cas où cette altération des feldspaths semble s'être produite sous des actions acides, dans des conditions de pureté spéciale, et où le résultat est une argile blanche kaolinique. Les gisements de kaolin peuvent exister : soit, et le plus généralement, dans les granulites; soit dans les trachytes, comme à la Tolfa.

A. — ARGILES POUR TUILERIES, BRIQUES RÉFRACTAIRES, ETC.

Une argile commune suffit pour la fabrication des briques ou des tuiles plates; la production des tuiles à emboîtement demande, au contraire, des qualités très fines, homogènes, ne contenant ni calcaire en grains qui, à la cuisson, se boursouflerait, ni grains de

quartz ou de pyrite qui détruiraient l'homogénéité, ni cailloux qui gêneraient le travail des malaxeurs.

On peut apprécier l'argile en faisant des prises d'essai en divers points de la carrière, et leur faisant subir un lavage à l'eau.

L'argile extraite peut d'ailleurs rarement servir sans mélange ; le plus souvent, après l'avoir découpée en tranches et mouillée, on la laisse pourrir dans un fossé avec des lits alternants d'autres argiles, de sciure de bois, de poussière de coke, etc.

L'installation d'une tuilerie mécanique exige une force motrice d'au moins un cheval pour 1 000 tuiles par jour ; la cuisson se fait le plus souvent dans des fours continus Hoffmann passant environ 30 mètres cubes par jour.

B. — KAOLIN

Historique et usages. — Le kaolin est l'élément essentiel de la fabrication de la porcelaine. Il paraît avoir été utilisé pour la première fois en Chine sous l'empereur Han, vers 185 avant notre ère. Les Chinois commencèrent par fabriquer de la porcelaine bleue jusque vers 581 avant Jésus-Christ ; vers 618, apparaît la porcelaine verte ; puis, en 960, les porcelaines craquelées dites « bleu du ciel après la pluie ».

Vers 1710, le kaolin, dont un missionnaire français, François-Xavier d'Entrerolles, avait reconnu le rôle dans la fabrication chinoise, fut retrouvé, par hasard, en Saxe et l'on commença à l'utiliser dans ce pays, à Albrechsburg, près Meissen. Puis, peu à peu, malgré toutes les précautions prises pour conserver le procédé secret, des fabriques s'établirent en divers points de l'Europe.

En France, on avait commencé à fabriquer, de 1695 à 1700, la porcelaine dite tendre qui est beaucoup plus un verre qu'une porcelaine et où il entre à peine d'éléments argileux, porcelaine faite avec une fritte composée de sable, nitre, gypse, alun et sel marin, chauffée presque jusqu'à fusion, puis écrasée ou mélangée à de la marne et de la craie. En 1756, fut fondée la manufacture de Sèvres, et, en 1760 seulement, Guettard découvrit le premier

kaolin français, aussitôt employé à la confection de la porcelaine dure. Ce kaolin, assez impur, se trouvait à Alençon. Enfin, en 1768, M. Dauret trouva le kaolin de Saint-Yrieix.

Aujourd'hui, les éléments d'une pâte à porcelaine se composent essentiellement de kaolin, principe argileux infusible, de feldspath fusible dégraissant, de quartz et de chaux. La pâte de service de Sèvres ou pâte de fabrication courante peut servir de type. Elle se compose, d'après Brongniard, de :

Kaolin de Saint-Yrieix ;
Sable d'Aumont ;
Felspaths de Saint-Yrieix ;
Craie de Bougival.

Ces éléments sont associés en proportions variables, suivant leurs compositions, de manière à donner un mélange qui contient toujours le même dosage, savoir :

Silice.	Alumine.	Chaux.	Potasse.
58	34.5	4.5	3

La glaçure ou *couverte* est formée de feldspath quartzeux, tantôt seul, tantôt mélangé avec du gypse.

Les fabricants de Paris emploient généralement pour leur pâte 80 de kaolin et 20 de feldspath.

La préparation comprend, d'abord, un malaxage et un marchage; puis on laisse la pâte pourrir : on la reprend pour la battre : on la mélange d'eau intimement, et l'on a une bouillie liquide dite *barbotine* qui peut être travaillée au tour, moulée ou coulée. Après quoi, on dégourdit par une cuisson légère, et on recouvre, par immersions, d'une glaçure qui est ensuite vitrifiée par une cuisson définitive.

Conditions économiques du commerce du kaolin en France. — Le kaolin, et surtout le kaolin de première qualité est, en somme, d'un usage assez restreint. La belle porcelaine a à lutter contre la faïence, beaucoup moins chère et susceptible d'un éclat, d'une coloration plus brillantes[1]. Dans ces conditions, les gîtes actuel-

[1] En France, l'industrie de la porcelaine occupe environ 10 000 ouvriers, et les produits ont une valeur de 36 millions par an : la faïence en emploie 8 000 et produit 43 millions.

lement exploités en Limousin, en Bourbonnais, en Saxe, en Angleterre, etc., suffisent, et au delà, à la consommation. La plupart des mines de kaolin ne se sauvent que par une série d'usages accessoires parmi lesquels il faut bien signaler la falsification ; on se sert de kaolin pour alourdir le papier, on le mêle alors à la pâte en additionnant d'une émulsion d'amidon pour faire adhérer ; on en utilise pour les draps, etc.; en outre, on en emploie une petite proportion pour le bleu d'outre-mer.

En France, le Limousin (Saint-Yrieix et Coussac) reste toujours un centre de production important, surtout pour les qualités supérieures ; mais, pour les qualités secondaires, les fabriques de Limoges importent une quantité notable de kaolins étrangers : soit de kaolins français de l'Allier, soit de kaolins anglais (Saint-Austell, etc.). On admettait, il y a peu d'années, que Limoges importait, par an, 3 500 tonnes de kaolins anglais, autant d'autres kaolins français, consommait 3 à 4 000 tonnes de kaolins de Saint-Yrieix et utilisait finalement environ 11 000 tonnes pour la porcelaine.

Vierzon emploie une proportion encore plus forte de kaolins anglais.

Les prix de vente respectifs expliquent aisément cette introduction de produits étrangers qu'on songe à empêcher par des tarifs de douane :

Les décantées anglaises extra, en baisse par suite de la concurrence des diverses mines, arrivent en effet, en gare de Paris, à 68 francs la tonne, à 80 francs en Auvergne ou dans le Berry ; les décantées de second ordre reviennent à 50 ou 60 francs à l'usine. Au contraire, les premières qualités de Saint-Yrieix, qui sont seules propres à la fabrication des pièces extra, se vendent jusqu'à 120 francs. Néanmoins ces produits supérieurs, sur leur marché restreint, conservent la préférence. Mais, pour les pâtes communes, pour les faïences, la pâte de papier, etc., on a besoin de produits moins chers. Les kaolins de Saint-Yrieix sont, dès lors, utilisés pour durcir la pâte anglaise qui serait trop friable. Comme celle-ci serait également trop peu fusible, on y ajoute, en général, un peu de blanc de Meudon.

Voici les prix approximatifs des diverses sortes de Saint-Yrieix rendues à l'usine :

Cailloux. . . .	25 à	30 fr.	la tonne au plus.
Caillouteuse. .	20	50	pour des kaolins absolument blancs.
Sablonneuse. .	60	80	
Kaolin pur . .	100	125	la tonne.

La consommation de ces derniers kaolins purs est à peine de 200 à 300 tonnes par an.

Si l'on veut se rendre compte de l'état de cette industrie dans le centre de la France, il faut, en outre, faire intervenir la consommation des sablons de Decize et de Drevant près Saint-Amand, des kaolins à bon marché du Dauphiné, des Eyzies et surtout de l'Allier.

Le prix du sablon de Decize n'est que de 3 fr. 50 en carrière. Si l'on y ajoute les frais divers dont nous donnons le détail, on arrive à environ 20 francs :

Exploitation.	3,50
Transport.	2,25
Lavage.	2.00
1/8 de perte au lavage.	0,65
Séchage.	1.50
Conduite à l'usine.	1.50
Intérêts d'argent de l'usine.	5.00
Mouture, etc.	4.00
	20,40

Nous aurons d'ailleurs à revenir, à propos de tel ou tel gisement spécial, sur l'établissement du prix de revient des kaolins.

Au point de vue géologique, nous distinguerons : 1° les gisements dans les granulites, généralement en relation avec des filons stannifères, dont les types sont : les Colettes dans l'Allier; Saint-Yrieix en Limousin ; Saint-Austell en Cornouailles, etc., 2° les gisements stratifiés comme celui de Decize (Nièvre) ou des Eyzies (Dordogne).

KAOLIN DES COLETTES (ALLIER)

Le gisement de kaolin des Colettes est situé dans un massif de granulite, isolé au milieu de micaschistes sur lesquels il a exercé

e action métamorphique, et recoupé par de nombreux filons de
ırtz, généralement dirigés Nord 25° Est.

La granulite contient de la cassitérite, du mica lithinifère lépi-
ithe et un peu de turquoise semblable à celle de Montebras
·euse). Au voisinage des filons de quartz, suivant des bandes
·allèles à eux et exclusivement auprès d'eux[1], elle a subi une
:omposition sur place, sans transport, qui lui a laissé son aspect
bituel et sa couleur, tout en transformant le feldspath en kaolin.
ıte granulite kaolinisée que l'on exploite, roche correspon-
ıte à la variété que nous retrouverons à Saint-Yrieix sous le
m de caillouteuse, est formée de quartz, feldspath et mica, et
posée suivant des sortes de filons ayant depuis quelques centi-
ıtres jusqu'à plusieurs mètres d'épaisseur, se réduisant parfois
profondeur et quelquefois augmentant de largeur après avoir
ninué avec une complète irrégularité. Nous reviendrons, après
oir étudié les kaolins de Saint-Yrieix, sur les conclusions géo-
ıiques qu'il est possible d'en tirer.

Les exploitations portent sur deux centres principaux, les
lettes et Echassières.

Aux Colettes, les travaux ont commencé en 1852 et compren-
nt aujourd'hui :

1° La grande tranchée dont le développement est de plus de
hectares et la profondeur de 32 mètres ; 2° la carrière du Puy-
Juillat, qui occupe 2 hectares et a 17 mètres de profondeur.

La roche extraite subit une préparation mécanique par densité
stinée à la débarrasser du quartz et du mica, d'abord dans des
oles d'eau courante au fond des tranchées, puis dans des bas-
ıs de dépôt à la surface. Le quartz et le mica noir se déposent
premiers, puis le mica blanc et, à la fin seulement, le kaolin.
ur terminer, on soumet ce kaolin à un tamisage à travers
ı cylindres formés d'une toile extrêmement fine (200 mailles au
ntimètre carré) afin d'enlever les dernières parcelles de mica
ınc.

La valeur du kaolin, difficilement rémunératrice en ce moment,

[1] Ce rôle des filons de quartz, quelque interprétation qu'on en veuille chercher, est
ppant et très net.

peut varier de 15 à 45 francs la tonne; la production annuelle est d'environ 6 000 tonnes.

KAOLINS DE SAINT-YRIEIX (Coussac, Marcognac, Cubertafou)

Les kaolins des environs de Saint-Yrieix ne se présentent pas en aussi grandes masses que ceux de l'Allier, mais en une série de veines accompagnées souvent d'une concentration secondaire de kaolin pur; ils se rattachent également à la granulite qui forme le remplissage de nombreux filons traversant les roches du pays; la roche encaissante de cette granulite elle-même est principalement le micaschiste, quelquefois la leptynite, en un point la diorite.

Le micaschiste, dans la région des gîtes, est faiblement incliné, très nettement stratifié et ordinairement métamorphisé au contact du kaolin.

On distingue, au point de vue de la nature du kaolin, les classes suivantes :

1° La *granulite non décomposée*, appelée dans ce pays « caillou à émail »;

2° La *granulite à demi décomposée*, encore solide, qui demande un broyage avant d'être vendue. — Prix 30 à 40 francs la tonne, pour la première blancheur;

3° La *granulite entièrement décomposée* ou « caillouteuse », mélange de kaolin, quartz et mica blanc accidentel. — 20 à 50 francs la tonne;

4° La *sablonneuse*, feldspath décomposé contenant encore quelques grains très fins de quartz et feldspath;

5° Le *kaolin pur* ou « argile », feldspath décomposé à peu près pur, dont la composition est environ :

Silice	Alumine	Eau	Résidu insoluble.
36,25	33,25	12,00	16,10

le résidu étant surtout formé de quartz impalpable et d'un peu

e felspath non décomposé ; il se vend environ 100 francs la ɔnne.

Formes des gîtes. — Ces kaolins se trouvent dans des filons ıinces de granulite, plus ou moins altérés suivant les points ; ɔs amas qui contiennent principalement l'*argile* paraissent être ɔrmés par un phénomène de départ postérieur au remplissage des lons ; ils se greffent sur ces filons de granulite et sont de forme bsolument irrégulière, quoique souvent, comme la granulite lle-même, ils s'interstratifient dans le micaschiste.

Orientation. — Les *filons* de pegmatite des environs de *Coussac*, ɜsez irréguliers comme tous les filons de granulite, sont orientés nviron Nord 80° à 70° Ouest, ainsi qu'il ressort du tableau suivant :

		Epaisseur	Orientation	Pendage
Carrières.	La Lande. .	3m,00	N 82 à 77 Ouest	88 Sud
	St-Bonnet .	3 50	N 82 70 —	88 —
	Grand-Bois.	1 50	N 82 72 —	60 — à 80 —
	Ste-Valérie.	8 00	N 80 85 —	
	St-Antoine.	4 00	N 65 70 —	

Ils se divisent en deux groupes principaux :

1° Le groupe de Coussac, le plus important de tous ;

2° Le groupe du Boisvicomte-Marcognac, à peu près abandonné ujourd'hui.

Nous allons passer en revue quelques-unes des principales arrières de Coussac :

ARRIÈRES DE SAINT-BONNET, LA LANDE ET GRAND-BOIS SAINTE-VALÉRIE, SAINT-ANTOINE, ETC.

La carrière de Saint-Bonnet comprend un grand filon avec un roiseur qui lui donne ın élargissement im- ortant, comme le ıontre la figure 91.

Fig. 91. — Coupe horizontale de la carrière de Saint-Bonnet.

Le remplissage est ɔrmé par de la cail- ɔuteuse, blanche au fond, ferrugineuse à l'affleurement. Le

micaschiste encaissant a une direction générale un peu oblique sur celle du kaolin. On remarque au filon une salbande quartzeuse accompagnant l'éponte Sud.

Le même filon est exploité dans la carrière de la Lande, la carrière du Grand-Bois et celle de Sainte-Valérie. A Grand-Bois, on trouve surtout de la granulite seulement à moitié décomposée qui doit être concassée pour devenir du kaolin marchand.

On peut remarquer que, dans cette carrière, le micaschiste, au contact de la granulite, est également beaucoup plus frais qu'à Saint-Bonnet.

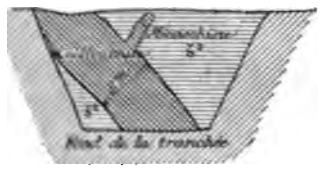


Fig. 92. — Coupe verticale à Sainte-Valérie.

A *Sainte-Valérie*, au contraire, on a du kaolin caillouteux formant un filon de 8 mètres, avec une ramification latérale, comme en présentent souvent ces veines de granulite dans le micaschiste.

A ce point de vue, la coupe d'une dernière carrière, celle de *Saint-Antoine* (fig. 93), est encore plus nette. Elle montre d'ailleurs, en dehors des filons de caillouteuse, une poche d'argile presque pure.

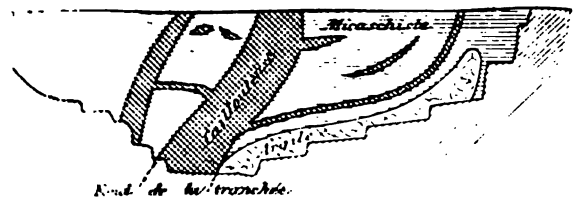


Fig. 93. — Coupe verticale de la carrière de Saint-Antoine.

Nous ne passerons pas en revue toutes les autres carrières très nombreuses de la région du Coussac. Leur caractère commun, surtout lorsqu'on les compare à celle des Colettes (Allier), est d'être très restreintes et très localisées. Nous n'avons pas affaire ici à une grande masse de granulite avec larges veines kaolineuses, mais à des filons minces et irréguliers de granulite inégalement décomposée avec poches locales de kaolin, au contraire, très pur.

Nous citerons seulement quelques faits particuliers :

Au Grand-Clos, un filon de $2^m,50$ d'épaisseur, au lieu d'être de composition homogène comme ceux que nous venons d'étudier, présente, dans un axe géodique, une concentration d'argile, tandis

: sur les épontes, la caillouteuse domine. Dans une autre car-
:e, au Boisvicomte, on constate un fait analogue, l'excès de
ırtz donnant une dureté particulière aux épontes.
Si l'on cherche à se rendre compte de la genèse de ces gise-
nts, on peut admettre que les filons de caillouteuse résultent
n simple métamorphisme, exercé sur place sur la granulite, le
g de certaines directions particulièrement propices. Les parties
rgile pure ont nécessité une transformation plus complète; il
peut-être permis d'y voir le résidu d'une sorte de préparation
canique due à la circulation des eaux ayant isolé le feldspath
omposé des cristaux de quartz, peut-être même d'une réaction
mique ayant redissous ces derniers.
lais, à quelle époque et de quelle façon précise s'est produite
transformation du feldspath en kaolin, c'est ce que nous
ıs aurons à examiner ultérieurement[1].

réparation du kaolin en Limousin. — Pour terminer ce qui est
ıtif aux kaolins du Limousin, nous ajouterons seulement
lques mots sur la préparation qu'on leur fait subir.
.e kaolin brut n'a besoin que d'être débarrassé par lavage du
a et, jusqu'à un certain point, du quartz.
ln pratique, à Limoges et dans le Berry, on fait le broyage du
lin brut et on y ajoute des proportions variables de kaolin
lais, de sablons de Decize et de craie de Meudon destinée à
ıner de la fusibilité. La roche exploitée comme kaolin fournit
-même, avec l'argile, du quartz et du feldspath.
.e *broyage* s'effectue actuellement, dans la plupart des moulins
Limoges, avec des petites meules pleines tournant sur une
ule fixe circulaire de 0, 70 de diamètre. Les deux meules sont au
d d'un bassin ou cuve en bois rempli de pâte liquide. Ces
its moulins ne passent que 100 kilogrammes à peine par jour.
tendent généralement à être abandonnés. On les a remplacés à
res, au moins en partie, par des moulins à blocs de 2 mètres
liamètre susceptibles d'une production beaucoup plus forte.
.vec le système limousin, une paire de meules produit environ

[1] Page 628.

75 à 100 kilogrammes par vingt-quatre heures et dure deux ans. Il y a d'ailleurs à tenir compte dans l'établissement du prix de revient de ce que la moitié seulement des matières nécessaires pour faire la pâte a passé par le broyage. 100 paires de meules occupent 25 ouvriers et nécessitent, en outre, 3 concasseurs, 2 lavoirs et plusieurs pressoirs. Les frais de broyage atteignent dès lors environ 10 francs par tonne : d'où, pour 500 kilogrammes, 5 francs.

Puis la matière venant des meules doit être filtrée et séchée partiellement. Le *filtrage* s'opère sur une étoffe pelucheuse, à l'aide du vide ou de la force centrifuge (essoreuse) ; cette simple opération donne aux pâtes une consistance suffisante pour qu'elles puissent être manipulées et conduites au séchoir.

Ces *séchoirs* sont de simples claies bien abritées sur lesquelles on place les lopins de pâte qui y perdent une partie de leur eau par évaporation ; 1 mètre carré suffit environ pour 100 kilogrammes de matière broyée. Après quoi, pour préparer la *barbotine*, un mélange est fait de cette pâte aux divers autres éléments dans des proportions que l'analyse chimique fait connaître et un malaxage très perfectionné donne au produit une grande homogénéité.

En résumé, les frais sont par tonne :

Broyage sur 500 kilogr.	5.00
Décantation des 50 p. 100 d'argile.	3,20
Laboratoire	0.80
Filtrage	0,75
Mélange	0.83
Séchage	1.00
	11,58

Les frais spéciaux sont donc de 12 francs par tonne. Les frais généraux et intérêts de fond de roulement pour l'usine, seraient d'environ 3 francs ; soit 15 francs pour la fabrication. Quant à l'extraction du kaolin, frais généraux compris, elle peut être estimée à 35 francs. Une tonne de pâte revient donc à environ 60 francs. Le prix de vente est : à Limoges, pour les pâtes ordinaires, de 90 à 120 francs ; pour les pâtes extra, de 180 à 250 francs.

KAOLIN DE LA NIÈVRE

:omme types de kaolins sédimentaires, nous décrirons les lons de la Nièvre et les kaolins de la Dordogne.

'infralias gréseux ou rhétien est représenté, dans la Nièvre, une couche de sables et de grès arkosiques peu épaisse, au-sous desquels commencent aussitôt les grès micacés et argiles ges avec cordons de gypse du trias[1]; au-dessus desquels osent, par contre, les calcaires foie de veau de l'hettangien.

.a hauteur de la couche de sables est de quelques mètres à ne. Elle renferme des bancs de grès dur et des couches de lons friables plus ou moins altérés, et présentant des lits rgile blanche assez discontinus.

.e sablon lui-même est formé de grains de quartz arrondis et ;lobés dans une argile kaolinique dont la proportion varie de à 25 p. 100.

.es points d'exploitation sont : 1° Decize, derrière la gare du min de fer ; 2° Vaux, en aval d'Avril; 3° Les Bruyères-Jaugery ı loin de Fleury-sur-Loire; 4° Azy-le-Vif ; 5° Chantenay ; 6° le ıteau de la Barre, au Sud-Ouest de Saint-Pierre-le-Moutier; Claire-Fontaine près le Pont-du-Veurdre. Ce sablon kaolinique, il suffit de laver pour en extraire l'argile, trouve son emploi ıs les faïenceries et fabriques de porcelaine assez fréquentes en te région : Nevers, Gien, Couleuvre (Allier).

GITES DE KAOLIN DES EYZIES (Dordogne)

Jn certain nombre de fouilles et de carrières ont reconnu des ɜ de kaolin qui se trouvent à environ 5 kilomètres de la sta-n des Eyzies, près du village de Queylou (Dordogne).

Nature du kaolin. — Le remplissage des carrières est de nature égulière; il se compose essentiellement de kaolin compact, à

Voir page 560.

cassure conchoïdale, souvent gras ou onctueux au toucher; ces masses sont traversées par des filets plus ou moins épais d'argile blanche translucide analogue à l'*halloysite*. Très blanc et très fin, ce kaolin n'a presque pas de retrait et, pour cette raison, n'entre qu'en petites quantités dans les pâtes à porcelaine : il sert surtout à la fabrication des papiers et des savons. On le vend environ 45 à 50 francs la tonne. Son prix de revient est très variable : suivant les difficultés de l'exploitation à ciel ouvert, il oscille entre 20 et 50 francs.

Nature du gîte. — Le kaolin se présente en grands amas irréguliers au milieu d'une puissante couche de sable micacé très fin, ordinairement ferrugineux, qui repose elle-même sur le calcaire des Eyzies (craie inférieure) dont la surface est irrégulièrement ravinée.

Les coupes des carrières[1] montrent, dans les amas et se fondant insensiblement avec eux, des filets continus voisins de la verticale, remplis d'une argile translucide gélatineuse, l'axe de ces filets étant jalonné dans toute l'épaisseur du gîte par des rognons de silex ou de meulière compacte translucide; le remplis-

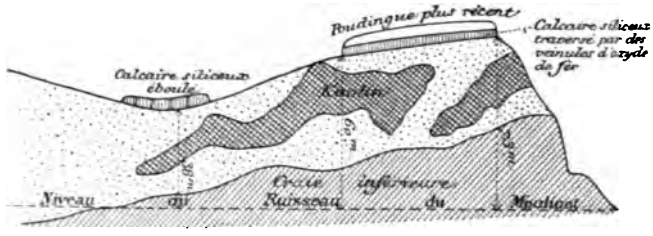


Fig. 94. — Coupe du gîte de Queylou (théorique).

sage du filet passe insensiblement au kaolin en s'éloignant de l'axe. D'autres fentes sont remplies de sable micacé ferrugineux.

Dans le sable, on rencontre çà et là des rognons de fer géodique. Sur ce sable, est un banc de calcaire siliceux très dur, voisin de la meulière.

De l'ensemble de ces caractères, M. Fuchs a cru pouvoir con-

[1] Fig. 94, 95, 96.

clure que la région des kaolins des Eyzies a été le siège d'une grande formation geysérienne post-crétacée, caractérisée par des dégagements irrégulièrement alternés de sables micacés ferrugineux et de boues kaolineuses, le phénomène terminal ayant donné lieu à un dépôt bien nettement geysérien de silicate d'alumine hydraté, encore gélatineux de nos jours, et de silice gélatineuse durcie en rognons sous forme de meulière. La même série de phénomènes aurait produit les dépôts de meulière du plateau de *Born, près Sarlat* (fig. 96), dont l'analogie avec ceux des Eyzies est rendue encore plus frappante par l'existence, sous la meulière, de sables micacés contenant

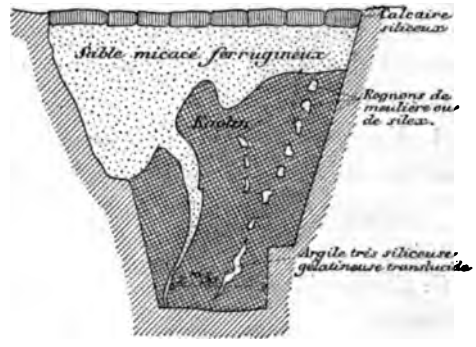


Fig. 95. — Coupe de la carrière la plus élevée sur le plateau de Queylou.

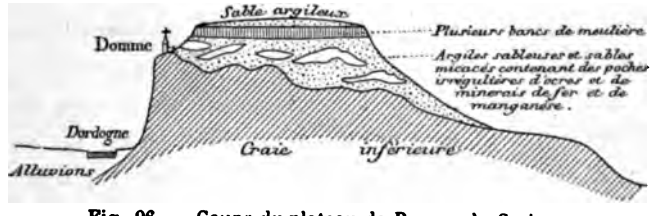


Fig. 96. — Coupe du plateau de Born, près Sarlat.

d'énormes amas irréguliers d'ocres, d'argiles ferrugineuses et manganésifères, et de minerais de fer et de manganèse contenus dans des poches ne présentant aucun caractère de stratification.

Il semble que des phénomènes de sédimentation troublée, postérieurs à la craie et antérieurs au dépôt du calcaire siliceux, suffiraient pour expliquer la constitution de ces dépôts.

A *Gavaudun*, dans le Lot-et-Garonne, on a trouvé, de même, des amas d'environ 50 mètres cubes de kaolin blanc remplissant des poches analogues à celles des minerais de fer. Quelques traces d'acide stannique ont fait supposer que ce kaolin provenait de la destruction d'une granulite stannifère.

KAOLINS DE THURINGE[1]

Les kaolins de Thuringe, exploités sur une grande échelle, forment des couches appartenant à la partie moyenne du grès bigarré. On distingue :

A. Kaolin d'Eisenberg (chamotte thon), employé spécialement pour les objets d'ornement appelés en Allemagne *chamotte* et pour la fabrication des capsules. La couche a 20 mètres d'épaisseur ;

B. Kaolin de Weissenfels sous forme d'un grès kaolinique blanc grossier ;

C. Kaolin de Martinrode, d'un blanc de neige.

THÉORIE DE LA TRANSFORMATION KAOLINIQUE

L'effet de la kaolinisation peut se résumer dans la décomposition d'un silicate double d'alumine et de potasse, l'orthose, en un silicate d'alumine accompagné d'une certaine quantité de silice libre, le kaolin, qui est resté en place, et un silicate de potasse qui a été ou qui peut être actuellement dissous par les eaux[2]. Ce kaolin a, d'après les travaux de M. Le Chatelier[3], une formule bien définie, — commune à toutes les argiles halloysites, lorsqu'on a enlevé leur quartz en excès —, qui est $2\,Si\,O^2\,Al\,O^3,\,2\,HO + Aq$.

Si l'on examine quels sont les silicates de potasse solubles dans l'eau : $2\,K\,O,\,Si\,O^2$; $2\,K\,O,\,3\,Si\,O^2$ ou $K\,O,\,4\,Si\,O^2$, la formule de l'orthose $K\,O,\,Al^2\,O^3,\,6\,Si\,O$ conduit à admettre sa décomposition en $2\,Si\,O^2$, $Al^2\,O^3$ et $K\,O,\,4\,Si\,O^2$.

En 1841, Brongniart et Malagutti, dans un important travail sur le kaolin, admettaient que ce résultat avait pu être obtenu

[1] Schmid. *Z. d. D. geol. g.*, t. XXVIII, p. 87 ; cf. *Ann. d. M.*, 7e, t. XIII, p. 365.

[2] Cf. Lemberg. *Zeitschrift d. Deut. géolog. G.*, t. XXVIII, p. 596, et *Revue de géol.*, par Delesse et de Lapparent, *An. d. M.*, 7e, t. XIII, p. 507.

[3] De l'action de la chaleur sur les argiles et de leur constitution (C. R. de l'Acad. des Sc., 23 et 31 mai 1877). Voir plus haut, page 613.

rectement sous des actions électriques et, ayant réalisé l'expé-
ence dans le laboratoire, ils en concluaient que, dans la réalité,
lectricité avait dû intervenir dans la formation du kaolin,
:plication qui, si nous ne nous trompons, a été reprise récemment.

Malagutti s'était prononcé pour cette hypothèse après avoir vai-
ement essayé de décomposer le feldspath par de la vapeur d'eau
ire, à de hautes températures et sous pression.

Mais, quand on fait intervenir un acide quelconque, la réaction
evient très simple.

Parmi les acides répandus dans la nature, le premier auquel
n doit songer, est l'acide carbonique[1]; chaque jour, en effet, à
surface des montagnes granitiques, les eaux qui en sont chargées
ansforment les silicates alcalins insolubles en carbonates enlevés
ar les eaux; il reste parfois, outre l'argile, un peu de silice
roduit de la double décomposition), qui forme des veines dans
roche; mais, le plus souvent, dans ce cas, carbonates, silice et
rgile sont emportés, laissant des grains de quartz et de feldspath
lus résistants isolés: d'où la formation, sur place, d'arènes qui
teignent, en certains points, 20 mètres d'épaisseur et, sans doute
ussi, à quelque distance, après une préparation mécanique due
u transport, celle des kaolins sédimentaires.

S'appuyant sur cette réaction actuelle, on a donc cherché à
xpliquer de même, par des influences météoriques, la constitution
es grands gîtes de kaolin dans les granulites. Le rapprochement
abituel, que l'on a constaté depuis longtemps entre le kaolin
les filons d'étain, résulterait alors uniquement de ce que l'étain
st généralement en relation avec une certaine granulite qui se
rête particulièrement bien à la kaolinisation.

Cette théorie, malgré sa simplicité séduisante, soulève des
bjections assez graves; il y a lieu, en effet, de remarquer que
ette influence des pluies reste purement superficielle et que, si
es eaux agissent parfois jusqu'à une profondeur assez grande,
0 mètres par exemple, c'est que, dans toute cette masse, elles
nt enlevé progressivement un élément, l'argile, en ne laissant

[1] L'acide nitrique qui se rencontre dans l'air et certains acides organiques peuvent galement intervenir dans la formation des arènes.

qu'une sorte de sable granitique : ce qui leur a permis de se frayer un chemin ; tandis que, dans le kaolin des Colettes, par exemple, le feldspath est encore entièrement resté en place, de manière que la roche n'offre aux eaux d'autres vides que ceux de la porosité. On ne s'expliquerait pas, dans cette hypothèse, la continuité de la formation kaolinique sur de grandes profondeurs, continuité qui paraît avoir été bien constatée dans un certain nombre de cas [1], quoique ailleurs la décomposition de la granulite soit réellement un phénomène superficiel. Tout au moins serait-il nécessaire, pour faire admettre cette théorie météorique, de prouver (ce qu'on n'a pas fait, croyons-nous), que toujours le kaolin finit par disparaître définitivement au-dessous d'un certain niveau.

On peut soutenir, d'autre part, avec quelque vraisemblance que les eaux sont intervenues d'une manière différente, à l'état de sources thermales anciennes ou récentes. Il est, en effet, assez remarquable que tous les grands gisements de kaolin, situés, comme on sait, dans la granulite, se trouvent en même temps au milieu de massifs de roches schisteuses très redressées, micaschistes ou schistes anciens pouvant introduire en profondeur des masses considérables d'eau ayant ensuite une tendance à remonter le long de fractures, en particulier le long de ces filons de quartz que nous avons vus, aux Colettes, en relation constante avec le kaolin [2] : dans l'Allier, la granulite est au milieu des micaschistes ; dans le Limousin, la chaîne granulitique de Blond, où se trouve le kaolin, est entourée de gneiss ; en Saxe, à Geyer, à Weisse-Andres, la granulite stannifère et kaolinisée est entourée de micaschistes ; en Cornouailles, de schistes dévoniens.

En fait, il n'y a rien d'impossible à ce que quelques formations de kaolin aient une origine de ce genre. Toutefois, dans la géné-

[1] C'est ainsi qu'auprès de Bône en Algérie, M. Parran (*B. S. G.*, 4 juin 1883, p. 509) a décrit, dans des gneiss granulitisés, des veines de kaolin dont la disposition rappellerait les gisements de Saint-Yrieix et qui persistaient à 70 mètres de profondeur avec la même intensité qu'aux affleurements.

[2] A Saint-Yrieix et Coussac, les filons de granulite, étant minces, ont joué eux-mêmes cette action directrice sur les phénomène de kaolinisation, qui est si nette pour les quartz des Colettes. Une action directrice du même genre sur des eaux superficielles ou souterraines est, sans doute aussi, la cause de l'altération profonde que nous avons pu constater maintes fois le long des grands filons du quartz du Plateau Central et qui les enveloppe presque toujours d'une zone limoneuse de plusieurs centaines de mètres.

é des cas, cette hypothèse nous paraît en désaccord avec ieurs faits bien saillants :

On sait avec quelle facilité les argiles sont délayées et enle- par les eaux ; le développement même des arènes granitiques est une preuve manifeste. Si les kaolins résultaient de la circu- on de sources thermales (et l'objection s'applique également ntervention de phénomènes météoriques), on expliquerait, à la eur, la formation des gîtes du Limousin avec leurs poches gile blanche ; mais on comprendrait difficilement comment la tion se serait bornée ailleurs, ainsi que c'est le cas aux ttes, à un métamorphisme sur place de la granulite sans un transport des feldspaths kaolinisés ;

L'association du kaolin avec les filons d'étain a été depuis temps mise en évidence[1]. M. Daubrée a signalé, notamment arglaze et à Huelgoat, la substitution de cristaux de cassitérite le quartz à du feldspath qui a donc bien été attaqué en ce it par les agents stannifères. D'ailleurs les roches spéciales accompagnent généralement l'étain et auxquelles on donne les ns locaux de schorl, zwitter, greisen, etc., roches composées de rtz et de mica, semblent bien n'être que des granulites dont le spath aurait disparu sous l'action des agents minéralisateurs de in : ce qui prouverait l'intervention de ceux-ci dans l'altération feldspaths.

ans ces conditions, la théorie énoncée jadis par de Buch en [2] et développée plus tard par M. Daubrée, théorie qui fait de aolinisation un fait presque toujours à peu près contemporain l'arrivée de la granulite et dû, au moins dans son principe, n agent interne, probablement le fluor, peut être considérée me plus plausible que les précédentes[3].

On peut comparer ce cas de métamorphisme au voisinage des gîtes d'étain avec si fréquents que nous aurons à mentionner auprès d'autres gîtes métallifères, es de Rio-Tinto, mercure de Californie, argent du Comstock, etc.

En 1824, de Buch, dans sa description du Harz, a émis l'opinion que le kaolin environs de Halle, en Prusse, devait son origine à l'intervention de l'acide hydro- ique sur le porphyre où se trouve ce kaolin et en a donné pour preuve la pré- e de très nombreux cristaux de fluorine dans la masse décomposée.

Nous ne prétendons nullement que le kaolin ait toujours cette origine ancienne. ent l'action des pluies et des sources a certainement joué un rôle. Auprès des s stannifères eux-mêmes, il est parfaitement possible que la kaolinisation ait été ement préparée anciennement par la venue fluorée et réalisée récemment sous

On conçoit, en effet, très bien qu'après l'apparition de la granulite, celle-ci s'étant fissurée sous l'influence d'un mouvement du sol lié probablement à sa venue même, des fluorures divers de silicium, d'étain, de bore, de titane, etc., et peut-être de l'acide fluorhydrique libre aient pu monter par ces fentes. Le quartz des filons résulterait alors de la réaction connue de l'eau sur le fluorure de silicium et l'action du fluor sur le feldspath expliquerait facilement sa décomposition.

Bibliographie des argiles et du kaolin.

1850. Kaolin produit par la décomposition du béryl. (*B. S. G.*, 2e, t. VII, p. 224.)

1874. Schloesing. — Sur la const. des argiles et kaolins. (C. R., t. LXXIX, p. 376 et 473.)

1877. Kaolins du *Lot-et-Garonne*, de *Lombardie*,, de *Thuringe ;* kaolinisation. (Revue de géologie, par A. de Lapparent, *Ann. d. M.*, 7e série, t. XIII, p. 364.)

1880-81. Fontannes. — Terrains des environs de *Bollène*. (*B. S. G.*, 3e série, t. IX, p. 438.)

1880. Dupont. — Histoire du kaolin.

1880. Société des kaolins de *Saint-Yrieix* (*Haute-Vienne*). (*Notice historique.*)

1880. Terres argileuses de la *Couvrerie* (*Indre-et-Loire*). (*Brochure.*)

1881. Ueber Kaolin aus dem Steinkohlengebirge bei *Newrode*. (*Jahres bericht der Schesischen Gesellschaft für vaterlandische Cultur*. Breslau.

6 février 1884. Lefort. — Sur la formation du kaolin (rhétien) dans la *Nièvre*.

1884. Hills. — Kaolinite from *red mountain*. (*New-Haven Americ. jour. of Sc.*, t. XXVII, p. 472.)

31 mai 1887. Le Chatelier. — Constitution des argiles. (C. R.)

1887. Daubrée. — Eaux souterraines anciennes (p. 179 et 313).

1888. L. de Launay. — Le kaolin des *Colettes* (Allier). (*B. S. G.*, p. 1669.)

Juillet 1891. — *Journal officiel*. Discussion à la Chambre des tarifs de douane sur le kaolin.

l'influence des eaux superficielles. D'autre part, M. Fuchs a montré à la Tolfa la connexion intime de certaines formations kaolineuses, avec des formations alunifères produites par des émanations sulfureuses à travers les trachytes.

FER

Fe ; Eq = 28 — P.*at* = 56.

Minerais. — Le fer est extrêmement abondant à la surface de terre ; il entre, à l'état de silicate, dans la composition de esque toutes les roches éruptives ; mais, en raison même de bondance de ce métal, on ne considère comme minerais et on exploite industriellement qu'une classe très restreinte de ses mposés : avant tout, les oxydes, hématite rouge, hématite une, oligiste, magnétite ; en second lieu, le carbonate ou sidése. La pyrite ne devient un minerai de fer que d'une façon condaire à l'état de résidu de la fabrication de l'acide sulfurique ı du cuivre.

Nous n'avons pas à insister ici sur les emplois bien connus ı fer ; nous nous contenterons de noter, dès à présent, deux ou ois points qui ont une influence notable sur le choix des giseents exploités.

1° Il existe pour le fer, comme pour tous les minerais en généil, une tendance très nette et très justifiée à préférer les couches édimentaires ou amas stratiformes, en raison de leur continuité, e leur constance, de leur extension et de leur homogénéité relave, aux filons toujours irréguliers et forçant, à mesure que l'on enfonce, à des dépenses d'extraction rapidement croissantes. ette tendance a été longtemps combattue pour des minerais de peu e valeur comme ceux de fer et supportant difficilement des frais de ansport par les conditions locales et par la nécessité de trouver, proximité des centres métallurgiques, les produits destinés à les

alimenter. A mesure que les chemins de fer et les lignes de navigation se multiplient, cet obstacle disparaît de plus en plus. D'autre part, les minerais sédimentaires ont eu longtemps contre eux leur impureté plus grande, en particulier la présence presque constante d'une certaine quantité de phosphore. Les progrès de la métallurgie, en permettant d'éliminer ces impuretés, ont également augmenté leur valeur.

2° Avec chaque grande étape de la métallurgie du fer, une classe spéciale de minerais a été recherchée de préférence. Au début, on demandait avant tout, des minerais facilement fusibles. A la suite de la révolution causée par l'invention du Bessemer, la faveur se reporta sur les minerais d'une pureté extrême. Depuis la découverte de la déphosphoration, on s'est attaqué surtout aux minerais économiques, en particulier pour la fabrication du fer, réservant les minerais purs à celle de l'acier cémenté et fondu.

En sorte qu'aujourd'hui on doit considérer comme particulièrement favorable un gisement de fer oxydé en couche, peu incliné et recoupé par des vallées, pouvant fournir de grandes quantités de minerai, même phosphoreux, à bas prix et, soit situé au voisinage de gisements houillers, alimentant les hauts fourneaux de combustible ; soit à proximité d'un port de mer, permettant de le transporter vers un centre métallurgique avec un frêt réduit.

Cependant il va de soi que des minerais riches et purs tels que ceux de Suède, de Bilbao, de l'île d'Elbe, de Mokta el Hadid, gardent toujours leur supériorité.

3° Il y a lieu, en outre, dans l'estimation d'un minerai de fer, de tenir compte de la présence de certains corps accessoires qui, même en quantités presque infinitésimales, ont une influence notable sur la qualité des produits : le manganèse par exemple ou le chrome, le silicium, le tungstène, etc. Cependant, là encore, les progrès de la chimie, en permettant de préciser le rôle de ces divers éléments et, par suite, d'introduire artificiellement en quantité voulue ceux qu'on jugeait nécessaire, ont diminué la valeur des minerais spéciaux où ils se trouvaient originairement contenus.

DONNÉES STATISTIQUES

Des tableaux ci-joints (p. 636 à 639) résument les principaux éléments statistiques relatifs au fer, en donnant, par pays et par année la production de minerais de fonte, de fer et d'acier.

Si nous essayons de classer les pays par ordre, d'après leur production de minerai de fer, nous trouvons :

États-Unis	1881,	7.233.057.
	1886,	10.500.000.
	1889,	14.750.000 à 11 fr. 71.
Iles Britanniques	1871,	17.704.821.
	1881,	17.725.203.
	1890,	14.002.000 à 7 fr. 07.
Allemagne	1877,	4.980.048.
	1880,	7.238.640.
	1890,	7.698.000.
Espagne	1879,	1.617.836.
	1883,	4.100.000.
	1885,	3.933.000.
	1889,	5.610.000 à 3 fr. 00.
France	1876,	2.380.091. Algérie.
	1886,	2.286.000 + 433.000 = 2.719.000.
	1888,	2.842.000 + 384.000 = 3.226.000.
	1890,	3.472.000 + 475.000 = 3.947.000
Luxembourg	1890,	3.359.413 à 2 fr. 40.
Russie	1876,	441.500.
	1882,	1.078.000.
	1889,	1.434.000.
Autriche	1880,	631.680.
	1890,	1.362.000 à 5 fr. 63.
Suède	1875,	522.500.
	1880,	775.000.
	1890,	986.000.
Italie	1860,	82.700.
	1870,	89.248.
	1880,	290.974.
	1890,	173.000 à 1 fr. 38.
Belgique	1880,	253.899.
	1890,	187.000 à 6 fr. 73.

PRODUCTI

QUANTITÉS EN T

ANNÉES	FRANCE		ALGÉRIE		ILES BRITANNIQUES		PRUSSE		SAXE		BAVIÈRE		AT AL
	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	
1880	2.874.000	5,19	614.146	11,04	18.296.440	9,08	3.936.300	8,32	23.700	12,02	73.600	»	
1881	3.032.000	5,00	656.646	11,14	17.707.737	8,83	4.027.472	8,65	23.800	13,85	»	»	
1882	3.467.000	4,86	567.119	9,64	15.323.226	8,83	4.118.000	8,21	26.000	13,11	74.132	6,20	
1883	3.298.000	4,68	557.000	8,79	17.661.000	7,32	4.186.000	7,57	21.000	15,00	79.000	5,87	
1884	2.977.000	4,30	493.000	8,25	16.403.000	6,85	3.926.000	6,90	21.000	13,38	119.000	6,13	
1885	2.318 000	3,86	419.000	8,14	15.673.000	6,39	3.555.000	6,48	18.000	14,27	130.000	5,59	
1886	2.286.000	3,60	433.000	8,32	14.343.000	6,18	»	»	»	»	103.000	5,88	
1887	2.579.000	3,35	438.000	8,12	13.317.000	6,13	3.834.000	7,00	12.000	12,85	98.000	5,20	
1888	2.842.000	3,33	384.050	8,51	14.824.000	5,95	4.145.000	7,58	12.000	12,75	118.000	5,08	
1889	3.070.000	3,39	352.000	6,98	14.779.000	6,57	4.375.000	8,83	16.000	12,12	131.000	5,16	
1890	3.472.000	3,56	475.000	8,92	14.002.000	7,07	4.243.000	9,16	16.000	12,12	131.000	5,16	

PRO

QUANTITÉS EN T

ANNÉES	FRANCE		ILES BRITANNIQUES		PRUSSE		SAXE		BAVIÈRE		ALSACE-LORRAINE		AUTRES PAYS ALLEMANDS	
	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.
1880	1.725.203	93	7.865.471	62	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1881	1.886.350	91	8.266.616	62	»	»	9.800	83	»	»	307.200	47	91.400	
1882	2.039.067	91	8.620.686	62	2.467.548	75	29.800	88	42.125	64	359.000	55	105.700	
1883	2.069.000	81	8.666.000	66	2.576.000	68	31.000	85	53.600	62	410.000	47	103.000	
1884	1.872.000	75	7.937.000	60	2.619.000	62	28.000	78	65.000	55	»	»	522.000	
1885	1.631.000	62	7.534.000	56	2.665.000	57	21.000	72	»	»	»	»	518.000	
1886	1.517.000	55	7.132.000	57	2.563.000	53	»	»	40.000	52	»	»	»	»
1887	1.508.000	57	7.681.000	58	2.864.000	54	15.000	68	37.000	53	»	»	905.000	
1888	1.633.000	57	8.127.000	46	3.099.000	56	24.000	72	49.000	51	»	»	641.000	
1889	1.734.000	61	8.456.000	61	3.209.000	62	26.000	53	59.000	56	»	»	659.000	
1890	1.962.000	70	8 031.000	75	3.288.000	73	34.000	»	67.000	»	»	»	755.000	»

FER

FRANCS

AUTRICHE		ITALIE		SUÈDE	RUSSIE	ESPAGNE		ÉTATS-UNIS		TOTAL approximatif du monde entier
Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes
531.680	7,34	290.974	10,75	775.205	»	3.565.338	3,42	»	»	31.359.386
518.964	7,22	»	»	826.000	»	3.502.681	2,77	7.233.057	»	42.920.036
902.510	6,55	272.000	12,41	893.000	1.078.000	4.726.000	2,50	9.144.000	»	41.753.753
882.000	6,55	»	11,62	885.000	998.000	4.526.000	2,80	»	»	47.800.000
974.000	6,84	255.000	10,57	909.000	1.016.000	3.907.000	2,79	9.144.000	18,35	46.391.000
931.000	6,00	201.000	10,95	873.000	1.095.000	3.933.000	3,01	9.144.000	18,35	44.270.000
796.000	6,00	209.082	10,97	»	»	»	»	10 500.000	9,00	44.084.000
847.000	5,77	209.000	10,96	872.000	1.043.000	4.167.000	3,42	11.500.000	9,00	45.111.000
909.000	5,58	231.000	11,28	903.000	1.355.000	4.879.000	3,05	12.253.000	12,16	50.081.000
715.000	5,51	177.000	11,38	959.000	1.434.000	5.610.000	3,00	14.750.000	11,71	51.755.000
982.000	5,63	173.000	»	986.000	»	»	»	»	»	54.750.000

FRANCS

ONGRIE		ITALIE		SUÈDE		RUSSIE		ESPAGNE		ÉTATS-UNIS		TOTAL approximatif du monde entier
nnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes
.662	91	»	»	405.040	»	434.098	»	85.930	103	3.895.939	»	17.606.715
.000	90	»	»	435.300	»	»	»	114.394	76	4.209.898	»	19.269.319
»	»	25.000	85	399.300	»	463.000	»	120.000	70	4.696.535	»	20.924.910
»	»	»	»	423.000	»	482.000	»	140.000	62	4 697.000	117	21.310.000
»	»	18.000	64	430.000	»	510.000	»	125.000	64	4.163.000	94	20.042.000
»	»	16.000	100	465.000	»	528.000	»	150.000	58	4.109.000	82	19.422.000
000	82	»	»	»	»	612.000	»	»	»	5.774.000	83	20.561.000
»	»	12.300	100	442.000	»	532.000	»	148.000	55	6.520.000	96	22.721.000
000	77	12.300	90	457.000	»	»	»	165.000	64	6.594.000	84	23.512.000
»	»	13.500	157	421.000	»	746.000	»	»	»	9.000.000	»	24.217.000
		»	»	»	»	»	»	»	»	9.350.000	84	27.115.000

P

QUANTITÉS E

ANNÉES	FRANCE		ILES BRITANNIQUES		PRUSSE		SAXE		BAVIÈRE		AUTRES PAY ALLEMANDS	
	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.
1880	966.000	230	1.950.000	»	»	»	»	»	»	»	»	»
1881	1.026.000	228	2.721.000	152	»	»	»	»	»	»	»	»
1882	1.073.000	231	2.884.157	157	1.310.749	191	»	»	74.733	188	»	»
1883	979.000	220	2.774.000	157	1.311.000	191	23.800	177	63.300	171	»	»
1884	877.000	197	2.273.000	140	1.254.000	»	23.000	105	61.000	162	133.000	16(
1885	782.000	170	1.942.000	»	1.254.000	»	34.000	»	»	»	133.000	16(
1886	767.000	154	1 642.000	»	1.254.000	»	»	»	60.000	135	»	»
1887	772.000	153	1.729.000	»	1.254.000	»	43.000	»	74.000	142	»	»
1888	817.000	151	2.064.000	»	1.348.000	149	45.000	160	81.000	150	170.000	137
1889	809.000	162	2.290.000	»	1.589.000	159	29.000	168	83.000	161	185.000	15(
1890	825.000	179	1.954.000	»	1.477.000							

P

QUANTITÉS E

ANNÉES	FRANCE		ILES BRITANNIQUES		PRUSSE		SAXE		BAVIÈRE	
	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.
1880	388.894	314	1.780.000	»	»	»	»	»	»	»
1881	422.416	280	1.810.000	200	»	»	»	»	»	»
1882	458.328	280	2.140.635	200	1.025 784	244	»	»	377	366
1883	522.000	260	2.041.000	»	1.026.000	244	14.300	240	12.000	202
1884	503.000	243	1.985.000	»	1.011.000	»	17.400	231	13.600	190
1885	554.000	221	1.918.000	»	1.011.000	»	24.000	»	»	»
1886	448.000	234	2.300.000	»	1.011.000	»	»	»	7.000	167
1887	454.000	244	3.094.000	»	»	»	18.000	»	13.000	154
1888	518.000	225	3.357.000	»	1.642.000	156	31.000	195	6.000	137
1889	529.000	238	3.570.000	»	1.681.000	156	32.000	202	19.000	118
1890	582.000	259	3.347.000	»	1.572.000					

EN FRANCS

E .	ITALIE		SUÈDE	RUSSIE	ESPAGNE		ÉTATS-UNIS	TOTAL approximatif du monde entier
Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Tonnes	Tonnes	Fr.	Tonnes	Tonnes
»	46.000	362	253.623	»	49.021	205	2.115.629	7.179.690
»	»	»	288.100	»	53.279	»	2.474.776	8.577.490
»	90.600	200	306.000	298.000	65.200	»	2.261.903	9.367.221
»	»	»	303.000	323.000	58.700	272	2.345.000	9.002.000
»	120.000	180	316.000	353.000	53.000	241	2.130.000	8.325.000
»	141.000	215	309.000	363.000	52.000	228	2.130.000	7.982.000
»	161.633	200	278.000	»	58.000	214	2.057.000	7.634.000
»	173.000	190	305.000	»	58.000	235	2.350.000	8.902.000
»	177.000	234	313.000	»	59.000	205	2.000.000	8.291.000
»	182.000	277	349.000	431.000	»	»	2.558.000	8.685.000
»	»	»	»	»	»	»	»	»

ER

S EN FRANCS

E	ITALIE		SUÈDE		RUSSIE		ESPAGNE		ÉTATS-UNIS		TOTAL approximatif du monde entier
Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes	Fr.	Tonnes
»	»	»	37.448	»	»	»	445	416	1.267.000	»	4.365.261
»	3.450	»	49.700	»	»	»	385	774	1.613.472	»	4.944.648
»	»	»	58.700	»	243.000	»	550	670	1.782.103	»	6.048.443
»	»	»	66.000	»	220.000	»	410	695	1.764.000	»	6.099.000
»	4.600	500	67.000	»	207.000	»	375	680	1.540.000	»	5.808.000
»	6.400	229	77.000	»	193.000	»	360	704	2.603.000	»	5.740.000
»	24.000	300	78.000	»	242.000	»	20.000	134	3.400.000	»	7.103.000
»	73.000	225	112.000	»	225.000	»	31.000	»	»	»	8.853.000
»	118.000	227	115.000	»	»	»	28.000	147	2.946.000	»	9.597.000
»	158.000	224	138.000	»	264 000	»	»	»	»	»	10.111.000
»	»	»	»	»	»	»	»	»	3.747.000	»	10.685.000

Nous avons classé plus haut (p. 635) les pays d'après leur production de minerai de fer.

Dans chaque pays, nous allons indiquer sommairement comment cette production se divise entre les principaux centres miniers :

Aux **Etats-Unis**, devenus depuis 1889, le premier pays producteur de fer, la statistique de 1887 donne les résultats suivants :

Minerai de fer du pays consommé : 11 300 000 tonnes, valant, sur la mine, 847 500 000 francs (en augmentation de 1 300 000 tonnes sur 1886) ;

Minerai de fer importé : 1 194 301 tonnes provenant d'Espagne, Algérie, etc.

La production de fer a été de 6 417 148 tonnes ; celle d'acier de 3 339 071 tonnes.

Si l'on cherche la répartition entre les divers districts miniers, on trouve en tonnes de minerai :

	1886	1887
Mines du Lac supérieur (Michigan et Visconsin).	3.263.961	4.344.651[1]
Cornwall, Pensylvanie	688.054	667.210
Mines de New-Jersey	500.501	547.889
Mines du Missouri	379.776	427.785
État de l'Ohio	344.484	377.465
Mines du Vermilion Lake en Minnesota	304.396	394.252
Mines de Port-Henry (New-York	298.868	428.522
Mines de Châteaugay, près le lac Champlain (New-York	214.800	219.390

Cette production de 1887 a été, surtout dans la région du lac Supérieur, plus forte que la consommation. En 1888, il restait, dans les docks du lac Erié, 703 720 tonnes contre 149 304 en 1887.

On voit que les mines du lac Supérieur forment de beaucoup la majeure partie de ce total. De 1850 à 1887, ces mines ont produit 35 789 000 tonnes. La grande distance qui sépare ce district minier de la côte orientale des Etats-Unis est la raison des importations considérables de minerai de fer qui se font d'Europe aux Etats-Unis. Cependant, depuis quelques années, on introduit, de plus en

[1] En 1870, ces mines produisaient 870 200 tonnes ; en 1873 : 1 186 000 ; en 1875 : 925 400.

lus, les minerais du lac Supérieur dans la Pensylvanie et la allée de l'Hudson.

Jusqu'en 1860[1], on sait que les Etat-Unis étaient alimentés par outes les branches de l'industrie anglaise. Après la guerre de Sécesion, à l'abri des tarifs protecteurs de 1861, il y eut, dans l'industrie indigène, un essor démesuré qui aboutit, en particulier pour le er, à un krach en 1873. Depuis ce moment, les Etats-Unis ayant léveloppé peu à peu leur commerce d'exportation, les mines de er ont pu augmenter progressivement leur production jusqu'aux hiffres mentionnés plus haut.

Les centres producteurs de fonte étaient, en 1875 : avant tout, a Pensylvanie qui fournissait 42 p. 100 de la fonte américaine; puis l'Ohio 18, New-York 12, Michigan 5, New-Jersey, 2,8, Wisconsin 2,6, Missouri, 2,6, etc.

Actuellement une industrie métallurgique importante se développe dans les états au Sud du Potomac et de l'Ohio.

Angleterre. — En *Angleterre*, la production s'est répartie, en 1885, de la façon suivante :

Cumberland	1 357 206 tonnes	de minerai à	55 % de fer.
Northamptonshire	1 279 783	— à	36 % —
Lincolnshire	1 260 470	— à	30 % —
Lancashire (Furness). . .	1 235 634	— à	54 % —

En cette année-là, la production de l'Angleterre a été de 5 673 000 tonnes, production notablement inférieure à la consommation résultant de stocks antérieurs qui a été :

	MINERAIS ANGLAIS	IMPORTÉS	TOTAL
1884	17 383 046	3 581 073	20 964 119
1885	16 137 887	3 153 133	19 291 020

En 1877, la production se répartissait ainsi par étage géologique :

Lincoln, Northampton et Yorkshire (lias et oolithe).	7 500 000
Houiller	6 000 000
Lancashire, Cumberland, Somerset, Glocester (carbonifère)	2 500 000
Irlande	150 000
Devon et Cornouailles (terrains anciens)	12 000
TOTAL.	16 162 000

[1] Voir ROLLAND. Note statistique sur l'industrie du fer aux États-Unis en 1876. (*Ann. des M.*, novembre 1878.)

Allemagne. — En *Allemagne*, on a la répartition suivante des minerais en 1890 :

Alsace-Lorraine.	3 256 270 t.	valant	8 728 400 fr.
Prusse Rhénane (Coblence,[1]	1 080 721	—	13 122 000
Westphalie (Arnsberg)[2]	976 471	—	11 876 000
Silésie (Oppeln).	776 170	—	4 750 000
Hesse-Nassau (Prusse) (Wiesbade).	608 306	—	5 427 000
Hanovre (Hildesheim)	327 426	—	1 610 000
Hesse	173 008	—	1 556 000
Bavière (Haut-Palatinat).	143 355	—	722 000
Brunswick	133 849	—	420 000
Hanovre (Osnabrück).	121 022	—	537 000
Total pour l'empire allemand. .	8 046 718	—	51 577 000
Cette même année, le *Luxembourg* a produit.	3 359 413	—	8 207 000

Et 559 000 t. de fonte, 113 000 t. de fer et acier fondus.

Les principaux districts producteurs de fonte, fer et acier sont :

	FONTE	FER ET ACIER fondu	FER ET ACIER soudé
Prusse rhénane. Dusseldorf . . .	708 220	934 000	586 000
Prusse rhénane. Coblence. . . .	433 243		
Prusse rhénane. Trèves.	368 541		
	1 510 004		
Westphalie (Arnsberg).	994 966	711 000	336 000
Alsace-Lorraine.	640 224	115 000	149 000
Silésie (Oppeln).	508 626	118 000	287 000
Hanovre (Hildesheim)	130 255	139 000	11 000
Total pour l'empire allemand. . . .	4 099 537	2 118 000	1 558 000

Espagne. — En *Espagne*, la majeure partie des minerais vient de la région de Bilbao, qui a fourni, en 1888, plus de 4 000 000 de tonnes ; puis de la province de Carthagène.

France. — En *France*, les départements producteurs se répartissent ainsi, par production en 1890, et par nature de minerai.

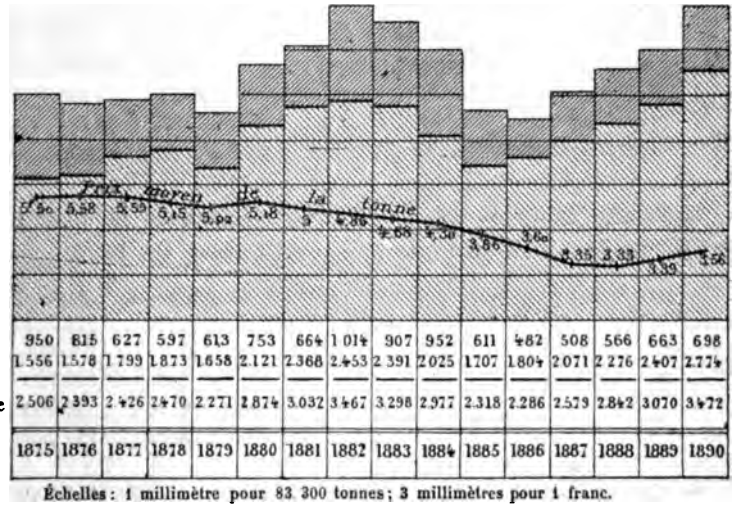
[1] L'ensemble de la Prusse Rhénane (Coblence, Cologne, Aix-la-Chapelle et Dusseldorf) a donné 1 134 548 tonnes.

[2] L'ensemble de la Westphalie (Munster, Minden et Arnsberg) a donné 1 118 827 tonnes.

	1883	1884	1885	1888	1890
Meurthe-et-Moselle	2 140 000	1 980 000	1 612 000	2 261 346	2 630 311
Algérie	557 000	493 000	419 000	384 000	474 632
Saône-et-Loire . .	125 000	120 000	116 000	93 260	128 686
Haute-Marne. . .	169 000	191 000	147 000	101 989	116 178
Lot-et-Garonne. .	»	»	45 000	36 225	81 325
Ardèche	188 000	128 000	70 000	92 947	62 059
Gard	91 000	71 000	53 000	48 956	61 179
Pyrénées-Orientales	118 000	83 000	55 000	44 200	60 280
Calvados.	33 251	28 129	22 768	33 449	58 777
Cher	99 000	101 000	54 000	»	54 000
Manche	13 713	»	35 000	21 954	51 359
Isère.	38 275	36 517	24 196	36 875	46 320
Loire-Inférieure .	13 807	8 922	4 302	10 697	44 093

	NATURE DES MINERAIS	1883	1884	1885	PRIX MOYEN DE LA TONNE		
1	Minerai hydroxydé oolithique.	2 468 000	2 313 000	1 861 383	3,44	3,10	2,69
2	Autres minerais hydroxydés	33 9000	250 000	151 670	8,24	8,80	8,14
3	Hématite rouge et fer oligiste.	236 000	158 000	97 925	8,51	7,91	7,33
4	Hématite brune	161 000	160 000	146 167	6,79	6,37	8,52
5	Fer carbonaté spathique.	73 000	66 000	51 211	12,65	13,25	12,39
6	Fer oxydulé	21 000	30 000	9 750	10,27	11,10	11,00

Enfin un graphique résume les variations de la production et des prix de 1875 à 1890.



Échelles : 1 millimètre pour 83 300 tonnes ; 3 millimètres pour 1 franc.

Fig. 97. — Production de minerais de fer en France de 1875 à 1890.

Quant à la production métallurgique, elle se classe ainsi en 1890 :

Pour la fonte, sur un total de 2 482 430 tonnes, les principaux départements producteurs sont :

Meurthe-et-Moselle	1 113 553
Nord	301 181
Pas-de-Calais	119 912
Saône-et-Loire	89 638

Pour le fer, sur 825 349 tonnes, on a :

Nord	328 000	tonnes	(40 %	de la production totale).
Haute-Marne	69 000	—	—	—
Ardennes	68 000	—	—	—
Saône-et-Loire	66 000	—	—	—
Ensemble	531 000	tonnes	(les $^2/_3$	de la production totale).

Après ces départements, viennent ceux de Meurthe-et-Moselle, de la Loire, de la Seine, de l'Allier et de l'Aveyron, avec des productions variant de 38 000 à 25 000 tonnes.

Enfin, pour l'acier, 582 000 tonnes ont été produites par trente-six aciéries comprenant 25 foyers Bessemer et 66 fours Martins.

Par départements, on a :

Meurthe-et-Moselle (Mont-Saint-Martin, etc.)	177 709	tonnes
Nord (Denain, Valenciennes, etc.)	125 007	—
Saône-et-Loire (Le Creuzot)	6 326	—
Pas-de-Calais (Isbergues, etc.)	61 245	—
Loire (Saint-Chamond, Firminy, les Etangs, etc.)	54 000	—
Gard (Bessèges, Tamaris, etc.)	46 475	—
Landes (Le Boucan)	42 000	—

Autriche-Hongrie. — En *Autriche-Hongrie*, la production de minerais de fer et de fonte se répartit ainsi, en 1890 :

	Minerai de fer.	Prix moyen.	Fonte.	Prix moyen.
Styrie (Eisenerz, Vordernberg)	792 300	4fr90	148 700	92fr »
Hongrie (Banat, Transylvanie, etc.)	666 000	6 35	226 000	84 »
Bohème (Nucic, etc.)	401 300	3 50	159 700	87 »
Carinthie	100 000	8 20	48 300	93 »
Moravie	25 000	8 15	197 900	83 »
Galicie, Carniole, Basse-Autriche, Silésie, etc.	43 400	» »	111 400	» »
Total	2 028 000	5 50	892 000	88 75

ıussie. — En *Russie*, les mines de fer sont situées : dans ural (Visokaja Gora, etc.) ; en Pologne (au voisinage du bassin sien) ; à Krivoïrog, etc. La Visokaja-Gora produit environ 000 tonnes de minerai par an ; en Pologne, l'usine de Huta-ıkowa (Dombrowa) fait 60 000 tonnes d'acier et de fer ; Kri-rog donne plus de 200 000 tonnes. La production de la fonte, s faible il y a quelques années, s'est beaucoup développée ıs ces derniers temps. En dehors des mines de l'Oural qui ıdent leur fonte à la foire annuelle de Nijni-Novgorod, on npte aujourd'hui 10 hauts fourneaux au coke dans l'Ouest : à Briansk (sur le Dnieper, près d'Iekaterinoslav) ; 3 à Cra-nskoi et 3 à Huta Bankowa (Pologne).

En 1889, la production de la fonte s'est répartie ainsi :

Oural.	Russie Méridionale.	Pologne.	Russie Centrale.	Finlande.	Sibérie.
396 800	140 000	91 200	81 600	13 600	5 000

Suède. — En *Suède*, la répartition est la suivante, en moyenne :

Norberg	90 000 tonnes de minerai.
Persberg	50 000 —
Danemora	30 à 40 000 t.
Grangesberg	id. —
Stripa, Dalkarlsberg, Vinkär	15 à 20 000 t. chacune, etc.

Italie. — En *Italie*, les principales mines sont celles de l'île Elbe qui ont produit, en 1889, 96 429 tonnes de minerai. Sur 3 489 tonnes pour tout le royaume, la province de Livourne fournissait alors 153 497 à 10 fr. 60 en moyenne.

GÉNÉRALITÉS GÉOLOGIQUES

Si nous passons maintenant à l'examen géologique des gise-ents, nous devons, pour introduire un peu d'ordre dans le très ınd nombre de mines que nous allons avoir à décrire, com-ncer par quelques généralités théoriques sur l'origine première fer et la façon dont les phénomènes internes ou externes nt, par une sorte de métallurgie naturelle constamment recom-ncée, concentré dans les gisements utilisés.

Le fer étant le premier métal proprement dit que nous ayons à ıdier, quelques-unes des remarques que nous allons faire

s'appliqueront aux autres corps que nous é

Quelle est d'abord, d'une façon toute première de tout le fer existant dans l'écorc abordable à nos investigations? On doit noyau dense situé au centre de la terre. Il de calculer astronomiquement que la den est de 5,5, alors que celle de l'écorce n' comme, d'autre part, l'analyse spectrale a entier ne contenait la matière que sous nombre restreint auxquels s'arrête jusqu'ici en conclure que c'est des plus lourds d'en métaux, qu'est constitué le centre. Il y assimilé la terre, par rapprochement avec le de fonte et d'autres métaux en fusion, dont constituent les roches, seraient la scorie. I appelé le péridot la scorie universelle; il tout portait à considérer le magma fondu, la terre, comme doué d'une action réductri dation du bain métallique résultant uniquer dans les substances fondues, des gaz de l'atm admis que les roches étaient d'autant m provenaient de couches plus profondes (premier stade de leur ascension), que leu seur de l'écorce à la faveur d'un plisseme plus tardive.

Quoi qu'il en soit, les roches éruptives s moins direct de la solidification, de la scorifi lifère fondu, et c'est, par suite, en elles qu'il le premier terme accessible à notre inves quelconques métallifères, en particulier de g quoique l'importance industrielle de ces g très restreinte, insisterons-nous d'abord su en commençant même par quelques détails piques où l'on trouve le fer dans les roches

Cette dispersion, cette diffusion du mét en éléments proprement dits de la constitu semble, en effet, la forme première, la for

hénomènes secondaires anciens ou récents, sont dérivés tous les utres gisements, rattachés par nous, d'une façon générale, aux ·ois grandes classes suivantes :

1° Une concentration a pu se faire dans la roche même, soit au ıoment de sa cristallisation, soit sous l'influence d'une action ıétamorphique liée jusqu'à un certain point au voisinage de la ırface, et donner des *gîtes d'inclusions en amas* comme ceux qui xistent, par exemple, dans les serpentines (roches souvent déri-ées de péridotites). C'est ainsi que nous étudierons les gisements e Taberg, Cogne, etc.

2° La séparation entre le métal et la roche éruptive a pu, soit l'époque même de la montée de cette roche, soit postérieurement, tre, sous l'influence de circulations hydrothermales, beaucoup lus complète, si complète même parfois qu'il est impossible de etrouver à quelle roche se relie un métal donné. Alors nous vons affaire à des *gisements filoniens :* gisements qui, dans bien es cas, nous semblent avoir emprunté les éléments de leur rem-lissage directement au magma encore chaud ; qui, dans d'autres ıs, peuvent résulter d'une dissolution plus récente des principes ɔntenus dans la roche depuis longtemps cristallisée et refroidie.

Les gisements filoniens, étant le résultat de la circulation des ıux, peuvent d'ailleurs affecter les formes très diverses des fissures u'on voit livrer passage à des eaux : soit des cassures nettes, soit s interstices, les bâillements des couches schisteuses ; ils peuvent voir été accompagnés d'une dissolution chimique progressive des ıarois de la fissure ; ils peuvent également avoir affecté la forme épanchements à la surface. Nous commencerons par des gîtes de ɔntact, tels que le Banat, l'Oural, peut-être Traverselle, où l'asso-ation avec une roche mère demeure encore assez nette ; puis ous citerons, comme filons proprement dits, ceux de Zorge, de ancié, de Murcie, d'Allevard, en rattachant aux gîtes stratiformes s *gîtes de substitution*, comme ceux de l'Erzberg styrien, du umberland ou de Bilbao et les *gîtes d'épanchement*, comme ceux e l'île d'Elbe, de Tafna, de Tabarka.

3° Enfin des phénomènes d'une toute autre nature, des actions *dimentaires*, agissant sur les parois d'un bassin lacustre ou arin, les corrodant, les dissolvant partiellement, opérant ainsi, à

la fois par préparation mécanique et par différence de propriétés chimiques, des séparations entre les éléments, ont formé des couches continues, présentant, comme tous les dépôts stratifiés, une homogénéité plus ou moins grande, une forme plus ou moins lenticulaire. Cette troisième catégorie de gisements, qui continue encore en certains points, à se former de nos jours, est, ainsi que nous l'avons dit en commençant, industriellement la plus importante et la plus recherchée.

Il y a d'ailleurs lieu de remarquer qu'avec un métal aussi facilement soluble que le fer, il a dû se produire à diverses époques anciennes et il continue à se produire encore aujourd'hui des *remises en mouvement* successives ayant eu pour effet de le faire passer de l'état d'éléments constituants d'une roche à celui d'inclusions, puis de filons, puis de strates; en même temps que, pour un gîte déterminé, la nature du minerai et, en particulier, son degré d'oxydation se trouvaient, dans la région superficielle, profondément modifiés.

Ceci nous amène à parler des états sous lesquels le fer se trouve dans ces trois catégories de gisements, ou de ses *minerais*.

Les *roches* contiennent surtout le fer à l'état de silicates; les silicates de fer, chaux, magnésie, constituent la plus forte portion des roches basiques, tandis que, dans les roches acides, entrent, de préférence, les silicates de métaux alcalins et d'alumine; mais on trouve, en outre, comme nous le verrons, le fer natif exceptionnel, le fer oxydulé, le fer chromé, le fer titané et l'oligiste. Ces divers sels, mis en présence d'une eau simplement chargée d'acide carbonique, ont pu se dissoudre à l'état de carbonate et se reprécipiter en hématite brune; telle est probablement l'origine première d'un grand nombre de dépôts sédimentaires.

Dans les *filons*, nous rencontrons la pyrite de fer, la sidérose et l'hématite brune ou rouge.

Généralement les oxydes sont un minerai superficiel; la pyrite et, jusqu'à un certain point, la sidérose, un minerai de profondeur. Le fait est net pour la pyrite qui est toujours recouverte, au-dessus du niveau hydrostatique, d'un chapeau de fer hydroxydé; il semble également réel pour la sidérose, qui est presque toujours transformée superficiellement en hématite rouge, et, par hydrata-

on, en hématite brune[1]. La sidérose, sel incomplètement oxydé, st d'ailleurs une gangue de filons métallifères, plomb, cuivre, nc, étain, et a pu se précipiter directement sur les épontes d'une acture par réaction aqueuse d'un carbonate alcalin sur le sulte venant lui-même de la pyrite, ainsi qu'on l'a constaté dans ertaines sources thermales[2]; mais sa présence peut être liée galement à des actions d'un autre genre, actions de substitution ues à la rencontre d'une couche calcaire par la venue filonienne; ans ce cas, on doit supposer que le fer a été apporté dissous à état de chlorure ou peut-être à l'état de sulfate provenant de oxydation de la pyrite.

Enfin les *gisements sédimentaires* nous présentent les oxydes e fer, magnétite, oligiste ou hématite brune et le carbonate.

La nature du minerai semble, jusqu'à un certain point, liée à *âge géologique* du terrain où on le rencontre.

C'est ainsi que, dans les terrains anciens métamorphiques, on ouvera presque exclusivement la magnétite ou l'oligiste, la agnétite se rencontrant le plus souvent dans une gangue calaire ou pyroxénique, l'oligiste dans une gangue siliceuse; dans carbonifère et le houiller, le fer sera à l'état de carbonate; dans permien, le trias, le jurassique, en hématite rouge (oxyde nhydre), généralement en variétés compactes ou ocreuses, rarement en variété cristallines; enfin, dans les terrains plus récents, n hématite brune.

Cette loi paraît assez nette pour qu'on se préoccupe d'en hercher la raison; peut-être faut-il admettre que le fer sédimenaire a commencé, dans tous les cas, par se déposer à l'état 'hématite brune comme il le fait encore aujourd'hui dans les arais de Suède et de Norvège et que l'action du temps, peut-tre le métamorphisme, l'ont d'abord déshydraté (hématite rouge[3]), uis rendu cristallin et partiellement réduit (magnétite). Il se erait produit, dans ces terrains anciens, là où la gangue était

[1] On en a la preuve dans la présence fréquente de pseudomorphoses de fer spathique dans la limonite.

[2] Par exemple à Bourbon-l'Archambault (Daubrée).

[3] On a constaté que l'hématite brune, à l'abri de l'air, se transformait peu à peu en hématite rouge, même à la température ordinaire, et sa calcination donne de la magnétite.

siliceuse, de l'oligiste[1]; là où elle était calcaire, du carbonate transformé en magnétite. La présence du carbonate dans le terrain houiller pourrait être liée, comme l'ont supposé Bischof et, à sa suite, V. Groddeck, à la grande abondance de gaz carburés réducteurs qui devaient exister dans les eaux à cette époque et qui auraient eu pour effet de conserver le fer à cet état d'oxydation incomplet en le carbonatant.

Un autre fait semble en relation avec cette transformation progressive des minerais sous l'action du temps, c'est la plus ou moins grande proportion de *phosphore* et de *vanadium*, deux corps que certaines propriétés communes rapprochent du fer dans les gisements sédimentaires aussi bien que dans les météorites. Phosphore et vanadium, relativement abondants dans les hématites brunes récentes, le sont déjà un peu moins dans les hématites rouges jurassiques, assez impures encore cependant; les carbonates du houiller, les magnétites ou oligistes des terrains primitifs et primaires, en sont généralement presque complètement exempts, probablement parce que les eaux ont peu à peu dissous ces éléments et les ont entraînés; cependant, dans les magnétites de Suède, on retrouve parfois le phosphore isolé à l'état d'apatite.

Le rôle des eaux dans cette purification peut, jusqu'à un certain point, faire comprendre comment, à une époque relativement récente où les formations de phosphates et de fer ont été très abondantes dans nos contrées, mais où les eaux acides ont eu une intervention incontestable, pendant la période sidérolithique, il y a séparation presque absolue entre les gisements de phosphates d'une part et de fer de l'autre.

Ces généralités posées, nous allons successivement passer en revue les grandes classes de gisements que nous avons distinguées plus haut.

Bibliographie générale du fer[2].

1845-1857. Delanoüe. — Sur la formation des minerais de fer d'*Exideuil* (Dordogne). (*B. S. G.*, 2e, t. II, p. 388, et t. III, p. 47; t. XIV, p. 885.)

[1] L'existence de l'oligiste semble, même comme élément cristallin des roches, liée à une certaine abondance de la silice.

[2] Généralités et gîtes non décrits.

1846. Rozet. — Sur les mines de fer de Semur en Brionnais et *Marcigny* Haute-Saône).

1846. Daubrée. — Zone d'amas ferrugineux placés le long des failles à la onction des grès des Vosges et du muschelkalk dans le *Bas-Rhin*. (*B. S. G.*, 2e, . III, p. 169.)

1849. Coquand. — Sur les minerais de fer du *Lot*, *Lot-et-Garonne*, *Aveyron*, *arn-et-Garonne*. (*B. S. G.*, 2e, t. VI, p. 229 et 328.)

1849. Raulin. — Sur l'âge de plusieurs minerais de fer tertiaires de l'*Aquitaine*. (*B. S. G.*, 2e, t. VI, p. 67, et 2e, t. VIII, p. 25 et 30.)

1849. Paillette. — Minerai de fer des *Asturies* (Espagne). (*B. S. G.*, 2e, . VI, p. 575.)

1850. Casiano de Prado. — Sur les minerais de fer des terrains de Sabero ans les montagnes de *Léon* (Espagne). (*B. S. G.*, 2e, t. VII, p. 137.)

1853. de Rouville. — Sur l'âge du minerai de fer superficiel des plateaux alcaires du *Sud de la France*. (*B. S. G.*, 2e, t. X, p. 397.)

1854. Meugy. — Sur le gisement, l'âge et le mode de formation des minerais e fer du département du *Nord* et de la *Belgique*. (*Ann. d. M.*, 5e, t. VIII, p. 147.)

1855. Four. — Sur les dépôts de fer pisiformes de la *Haute-Saône*. (*B. S. .*, 2e, t. XII, p. 231.)

1855. Boué. — Sur les mines de fer de *Maidan-Pek* en Serbie. (*B. S. G.*, 2e, . XIII, p. 63 ; *B. S. G.*, 2e, t. IV, p. 302.)

1857. Coquand. — Sur les min. de fer pisolithiques de la *Charente*. (*B. S. .*, 2e, t. XIV, p. 889.)

1857-61. C. Ribeiro. — Memoria sobre as minas de ferro no districto de *eiria*. (*Mem. Ac. r. de sc. mat. phys. et nat.*, 2e série, t. II. Lisbonne.)

1858. Beau. — Sur les minerais de fer de l'*Aubois*. (*B. S. G.*, 2e, t. XV, p. 673.

1858. Ch. Sainte-Claire-Deville. — Sur les minerais de fer de *Champrobert* d'*Arleuf* (Morvan). (*B. S. G.*, 2e, t. XV, p. 726.)

1861. Piette. — Sur l'âge des minerais de fer du Sud du plateau des *Arennes*. (*B. S. G.*, 2e, t. XVII, p. 572.)

1865. Mines de fer de la *Bosnie*. (*Bull. Ann. d. M.*, 6e, t. X, p. 608.)

1866. Découverte de minerais de fer oligiste dans l'*Est de l'Écosse*. (*Bull. nn. d. M.*, 6e, t. XV, p. 673.)

1868. Gisements de carbonate de fer dans le crétacé inférieur de la *Westhalie* septentrionale. (*Cuyper*, t. XXIII, p. 451.)

1871. Jannetaz. — Sur les minerais de fer pisolithiques des environs de *aris*. (*B. S. G.*, 2e, t. XXVIII, p. 197.)

1873. Combes. — Note sur l'origine et la formation des minerais de fer du *aut-Agenais* (Lot-et-Garonne) et des phosphates de chaux du Quercy (Lot).

1874. Hamiel. — Uber das Auftreten des Eisensteins in den Jura Ablagerungen Deutschlands. (*Geol. zeit.*, t. XXVI, p. 59.)

1877. Ch. Tichborne. — On the formation of magnetic oxide by the dissoation of ferrous salts. (*Proceedings of the R. Irish Academy*, 2e série, t. III, . 79. Dublin, 1877.)

1877. C. de Stefani. — L'oligisto e gli altri minerali che si trovano al *Capo alafuria*. (*Boll. del R. Com. geol. d'Italia*, t. VIII, p. 72. Rome, 1877.)

1877. J. Roth. — L'oligisto di Calafuria. (*Boll. del R. Com. geol. d'Italia*, VIII, p. 461. Rome, 1877.)

Virlet d'Aoust. — Rapport sur les mines de fer oxydé manganésifère *'Escoumps*, commune de Nyer (Pyrénées-Orientales). (In-4°, 12 p. 1, pl.)

1878. PESCHAR. — La houille et le fer dans tous les pays du monde.

1879. LAN. — La métallurgie à l'Exposition de 1878. (*Ann. d. M.*, 1879, t. XV, p. 529.)

1880. NEWBERRY. — The genesis of the ores of Iron. (In-8°, 17 p. New-York.)

HUDDLESTON. — On the geological history of iron ores. (*Proceedings of the geologist's association.*)

1880-81. DE GROSSOUVRE. — Sur le métamorphisme des calcaires jurassiques au voisinage des gisements sidérolithiques. (*B. S. G.*, 3e série, t. IX, p. 277.)

1880-81. ARGALL. — Notes on the tertiary iron ore measures of *Glenariff valley*. (*Journal of the royal geol. Soc. of Ireland*, t. XVI, p. 98. Dublin, et *Scient. proc. of the royal Dublin Soc.*, nouvelle série, t. III, nos 1 à 4, p. 151.

1881. MALLET, — On the ferruginous beds associated with the basaltic rocks of north-easthern ulster in relation to indian. (*Records of the geol. survey of India*, t. XIV, n° 1, p. 139. Calcutta, 1881.)

1881. PHILIPS. — On the occurrence of remains of recent Plants in brown iron ore. (*Quart. journ. of the geol. Soc.*, t. XXXVII, p. 1. Londres.)

1882. MALLET. — On the iron ores... on lateritican manganese ore. (*Geol. survey of India*, t. XV, p. 94, 116.)

1882. KENDALL. — The hematite deposits of *Furney*. (*Transactions of the North of England Institute of mining and mechanical Eng.*, vol. XXXI, p. 211.)

1883. SIX. — Sur l'origine et le mode de formation des minerais de fer liasiques. (Soc. *géol. du Nord*, t. X, p. 121.)

1884. MALLET. — On the iron ores. (*Records of the geological survey of India.* t. XVI, p. 24. Calcutta, 1884.)

1884. CARULLA. — The steel age. (In-12, 10 pages. London, 1884.)

1884. DIEULAFAIT. — Origine de certains phosphates de chaux en amas dans le calcaire de la série secondaire et de certains minerais de fer appartenant à la division des minerais en grains. (C. R., t. XCVIII, p. 841. Paris.)

* 1884. CZYZSKOWSKI. — Les minerais de fer dans l'écorce terrestre. (*Bull. Soc. Ind. min.*, 2e série, t. XIII, p. 481, Saint-Etienne, 1884.)

1884. HOCK. — Mines de fer de l'*Espagne*. (*Cuyper*, t. V, p. 510.)

DOM PEDRO AUGUSTO DE SAXE-COBOURG-GOTHA. — Fer oligiste spéculaire cristallisé de Bom Jesus Meiras (Prov. de Bahia, Brésil). (C. R., t. CVIII.)

1886. KENDALL. — The iron ores of the *english* secondary rocks. (*Trans. of the North of England inst. min. and mechan. Engin.*, t. XXXV, p. 105.)

* 1890. CARNOT. — Analyses de minerais de fer. (*Ann. d. M.*)

A. — ROLE DU FER DANS LA CONSTITUTION DES ROCHES CRISTALLINES[1]

Dans les roches cristallines, le fer, on le sait, se présente principalement à l'état de *silicates*. Nous nous contenterons de mentionner :

[1] Voir Michel Lévy et Lacroix : *Les Minéraux des roches*, 1889.

1° Comme *éléments des roches basiques :* le groupe du péridot, 2 (Mg, Fe, Mn) O, SiO^2, contenant : dans le chrysolite, 9 p. 100 d'oxyde ferreux; dans l'olivine, jusqu'à 16 p. 100; dans l'hyalosidérite, 28 ; dans la fayalite, 58 ;

Puis le groupe du pyroxène, (Ca, Mg, Fe) O, SiO^2, contenant : dans le diopside, 1 à 4 p. 100 de protoxyde de fer; dans le salite, jusqu'à 20 p. 100; dans le diallage, 10 à 14 p. 100; dans l'enstatite, moins de 4 p. 100; de 5 à 14 p. 100 dans la bronzite ; plus de 14 p. 100 dans l'hypersthène ;

Le groupe des amphiboles (de même formule que les pyroxènes en comptant l'eau comme protoxyde) contenant : dans la trémolite, 0 à 2 p. 100 de protoxyde de fer ; dans l'actinote, 12 à 13 p. 100; dans la hornblende, 7 à 29 ;

Et, à titre accessoire, l'épidote (9 à 16 : Fe^2O^3 ; 0 à 5 : FeO) ; le grenat (jusqu'à 40 p. 100 Fe^2O^3) ;

2° Comme *éléments silicatés ferrugineux des roches acides*, les micas, (K, Na, Mg, Fe) O, (Al, Fe) $^2O^3$, $2SiO^2$) contenant : dans le biotite, 0 à 5 de Fe^2O^3, 4 à 15 de FeO; dans le phlogopite, 0 à 2 de Fe^2O^3; 0, 5 à 1,5 de FeO; dans le muscovite, 1 de Fe^2O^3 et 1 de FeO; et, à titre accessoire, les tourmalines (1, 5 à 13 Fe^2O^3; 1 à 9 FeO).

On rencontre, en outre, le fer sous des formes où, en plus grandes masses, il constituerait un minerai. Ainsi le *fer natif* a été observé dans une dolérite d'Ovifak (Groënland) associé avec de la viridite, c'est-à-dire avec une matière serpentineuse verte qui semblait résulter de l'altération du pyroxène, abondant à côté d'elle; le fer lui-même a été considéré là comme secondaire[1].

Mais le fer natif se retrouve surtout, moulant le péridot, dans certaines météorites ; il contient alors jusqu'à 20 p. 100 de nickel ; en outre, du chrome, du cobalt, du silicium, du phosphore, du soufre, même de l'hydrogène et renferme des lames de phosphure de fer qui donnent, par attaque aux acides, les figures connues sous le nom de figures de Widmanstœtten.

[1] Cf. CHANCOURTOIS. (*B. S. G.*, 19 février 1872, 2e, t. XXIX, p. 175 et 210); et STEENSTRUP : Uber das metalleisen aus Grönland. (*Deutsch. geol. Gesells.*, t. XXXV, p. 695.)

Le *fer oxydulé* se présente dans presque toutes les roches et dans les deux stades de consolidation. Les cristaux du premier stade, plus volumineux que ceux du second, sont des premiers consolidés. Dans les roches granitoïdes, le fer oxydulé est exclusivement du premier stade; dans les roches trachytoïdes, des deux. Le pyroxène, l'amphibole, le mica noir et même les feldspaths contiennent une abondance particulière de fer oxydulé et s'entourent de ses cristaux comme d'une auréole. D'ailleurs, le fer oxydulé apparaît souvent comme résultat d'actions secondaires sur la hornblende ou l'augite et, à son tour, se décompose en limonite.

Le *fer oligiste* ou hématite rouge existe dans les deux temps de consolidation et à l'état secondaire. Comme élément de première consolidation, il paraît remplacer une partie du mica dans certains granites et gneiss. Parfois il s'associe régulièrement à un mica à deux axes (Pennsbury, New Providence en Pensylvanie). Il a été signalé dans presque toutes les roches, diorite, porphyrite, andésite, serpentine, trachyte, basalte, surtout dans celles riches en silice. C'est à lui qu'il faut rapporter la coloration rose d'un grand nombre de feldspaths, la couleur brune ou violette de la pâte des porphyres pétrosiliceux.

Le *fer chromé* ($FeO\,Cr^2\,O^3$), qu'on peut rapprocher du fer oxydulé, se trouve dans les serpentines et dérive peut-être de la picotite ($Mg, Fe)\,O\,(Al^2O^3, Cr^2O^3$), fréquente dans presque toutes les roches à olivine anciennes et récentes, soit en gros grains, soit en inclusions dans l'olivine. Nous aurons à y revenir à propos du chrome.

Le *fer titané* $(Ti, Fe)^2O^3$, comparable à l'oligiste, est toujours en cristaux de première consolidation abondants dans les roches basiques : diorites, diabases et dolérites, gabbros et euphotides, porphyrites, basaltes, péridotites, etc.

B. — GITES DE FER EN INCLUSIONS DANS LES ROCHES

Les gîtes de fer en inclusions dans des roches se composent presque exclusivement de magnétite, soit dans une péridotite (Taberg), soit dans une roche qui en dérive souvent comme la serpentine (Cogne). Nous rattacherons à ce groupe, d'après Kjérulf, certaines magnétites de la côte d'Arendal en Norvège, enveloppées d'une gangue de skarn (pyroxène, grenat, calcite) et qui, selon lui, recoupent nettement les strates encaissantes.

Dans l'Oural, il existe encore à la Visokaja-Gora près Nijni-Taguil, à Gora Blagodat, à Katschanar, etc., des amas de magnétite (avec un peu de chalcopyrite) qu'on a souvent décrits comme des inclusions dans des roches auxquelles on a donné les noms les plus divers.

Ces gîtes sont, en effet, inclus dans des syénites, mais beaucoup plus minces qu'on ne l'avait cru d'abord et toujours localisés au voisinage de calcaires cristallins qui se sont surchargés de grenat. D'après les derniers travaux des géologues russes, nous les considérerons comme des gîtes de contact de la syénite et du calcaire.

La même forme en amas de magnétite avec chalcopyrite se retrouve enfin, en Piémont, dans les gisements de Traverselle, situés comme ceux de l'Oural au contact de la syénite.

Malgré les différences qui séparent ces deux derniers gîtes (Oural et Traverselle) des précédents, nous chercherons à les en rapprocher dans la description à cause de l'analogie de leur constitution minéralogique et nous renvoyons également, à ce point de vue, à la description que nous ferons ultérieurement[1] des lentilles de magnétite interstratifiées au milieu du terrain primitif suédois : lentilles où l'on retrouve de même, comme dans l'Oural,

[1] Page 702.

comme à Traverselle, un peu de chalcopyrite associée. Il est possible que ces gîtes de magnétite se distinguent de tous les autres gîtes de fer par l'intervention d'actions ignées (au lieu de simples circulations d'eau), en présence d'un milieu basique et réducteur, soit magnésien[1], soit calcaire, ayant produit la cristallisation du fer en magnétite, ayant peut-être aussi amené, par une métallurgie naturelle, l'épuration en phosphore[2] qui contribue à la bonne qualité de ces minerais.

GITE DE TABERG (SUÈDE)

(*Amas de magnétite dans la péridotite.*)

La montagne du *Taberg*, *près Jönköping* (*Suède*), s'élève de 125 mètres environ au-dessus du gneiss qui l'entoure; elle consiste, d'après les recherches de Sjögren, en une péridotite composée d'olivine, de magnétite, d'un peu de plagioclase, et accessoirement de mica et d'apatite. La falaise de la montagne qui domine la rivière Mansarpa est formée presque entièrement de magnétite : le minerai y est répandu dans la roche en grains très fins ou constitue le remplissage homogène de veines de sécrétion.

C'est, depuis les travaux de M. Daubrée, un type classique de minerai en inclusions dans une roche éruptive.

Bibliographie.

1807. HAUSSMANN. — Reise durch Skandinavien, 1re partie, p. 165.
1826. HISMJER. — Miner. geogr. von Schweden, p. 205.
1846. DAUBRÉE. — Gisements de Scandinavie, p. 24.
1855. DUROCHER. — Berg. u. hütt. Z., 1855, p. 10.
1876. A. SJÖGREN. — Neues Jahrb. f. mineral., 1876, p. 434.
1881. GRODDECK, p. 190 et COTTA, p. 537.

[1] Péridotites.

[2] Avec cristallisation distincte de ce phosphore, uni à la chaux, en apatite.

GITE DE COGNE (VAL D'AOSTE)

(Amas de magnétite dans la serpentine.)

)ans la région de Cogne, il existe, au milieu de schistes micacés talqueux appartenant à la zone dite des roches vertes et au sinage de calcaires cristallins, des intercalations de serpentine [1] ne certaine extension, au milieu desquelles apparaissent des as, parfois considérables, de magnétite à la Licone, Colonna, cinas, etc... Le gîte le plus important est celui de la Licone où n trouve la serpentine reposant sur une couche de calcaire stallin et recouverte par du schiste micacé. Cette serpentine ntient beaucoup de fer oxydulé disséminé dans sa masse et, r un phénomène de concentration que nous retrouverons pour fer chromé, il s'y est formé une série d'amas alignés sur plurs kilomètres de long. Le plus considérable, que son altitude vée et le défaut de moyens de communication ont seuls empêché xploiter avec continuité, mesure 150 mètres sur 25 et peut cuber) 000 tonnes. A la magnétite sont associés l'asbeste, la dolomie, talc et un peu de brucite. Le pyroxène fait défaut.

Bibliographie.

874. PARRAN. — (*B. S. G.*, 3e, t. II, p. 257, et *Ann. d. M.*, t. VIII; *Revue de l.*, 1874-75.)
881. L. DE LAUNAY. — Notes de voyage inédites.
884. CRZYSKOWSKI. — (*B. Soc. Ind. Min.*, p. 283.)

ISEMENTS DE FER DE LA COTE D'ARENDAL [2]

(Magnétite à gangue de skarn recoupant les micaschistes et considérée, par Kjérulf, comme filonienne.)

Les gisements de fer de la côte d'Arendal, quoique aujourd'hui exploités, méritent une mention à cause de leur intérêt géolo-

[1] En 1860, M. Gastaldi et Parran considéraient cette serpentine comme contemporaine des couches encaissantes.

[2] Coll. *Ecole des Mines*, 1509.

gique et d'un mémoire important que Kjérulf leur avait consacré (mémoire traduit par M. Fuchs pour les *Annales des Mines*). Nous les séparons ici des autres minerais scandinaves, parce qu'ils ont été décrits par Kjérulf comme incorporés dans une roche filonienne.

Sur la côte Sud-Est de Norvège, il existe, dans une zone de 25 kilomètres de long, des amas de magnétite au milieu de micaschistes et amphibolites avec quartzites et calcaires interstratifiés. Les roches encaissantes paraissent, comme celles où nous rencontrerons la plupart des minéraux suédois et dont nous avons, à diverses reprises, signalé la minéralisation abondante en tous les pays, appartenir à la zone intermédiaire entre les gneiss et les micaschistes, dite des amphibolites.

Ces couches ont été redressées presque verticalement par un phénomène de compression latérale, et contiennent la magnétite sous forme d'une série de lentilles presque insterstratifiées à gangue de skarn [1], ayant de 2 à 20 mètres de puissance et de 90 à 200 mètres de longueur. Ces lentilles se trouvent à Næskilen, Hvideberg, Tromö, Langsev, Klodeberg et Braastad.

Kjérulf a fait remarquer que ces amas recoupaient, en réalité, les strates encaissantes (par exemple à la mine d'Aslak, de Næskilen, une couche de quartzite passant du toit au mur dans la longueur du gîte), qu'ils en contenaient fréquemment des fragments à angles vifs, et qu'ils lançaient, au milieu d'elles, une série de veines ramifiées.

Pour lui, la magnétite est un des éléments d'une roche métallifère éruptive ayant, pour minéraux constitutifs, le grenat (colophonite, mélanite), le pyroxène, la calcite, la magnétite, et parfois l'épidote. Cette roche, à composition basique, comprendrait : du pyroxène et du grenat, là où la silice s'est trouvée en quantité suffisante pour saturer les bases ; de la magnétite, là où la silice a fait défaut; et aurait fait éruption à la suite d'un plissement des schistes cristallins provoqué par la venue du gneiss-granite. Elle recoupe souvent ces schistes d'une façon nette, sans passage progressif de l'une à l'autre roche, et est, à son tour, traversée par des

[1] Grenat, pyroxène et calcite, avec épidote accessoire.

ons de granulite à minéraux rares et de porphyre pyroxénique. En dehors de ces amas de magnétite, la côte d'Arendal renferme autres gisements d'un moindre intérêt théorique, que Kjérulf a ssés en deux groupes :

1° Groupe de Stohlberg : magnétite remplaçant le mica dans le n-granite (nous en dirons quelques mots plus loin [1]).

2° Groupe de Langse et Gomœ : un mélange d'oligiste et de maétite sans gangue proprement dite, accompagnant, comme proit de sécrétion, des filons carbonatés qui contiennent un grand mbre de fragments de la roche encaissante et renferment de la lomie ferrugineuse, du carbonate de chaux et de la felsite. Ces ons recoupent le gabbro.

Bibliographie.

1806. Jacob Aal. — Om jernmalmlein. Copenhague.
1807. Haussmann. — Reise durch Scandinavien.
Bischof. — Lehrbuch der chem. Geol., t. II, p. 566
1843. Daubrée. — Mémoire sur les dépôts métallifères de Suède et Norge.
Durocher. — Gisements de Scandinavie. (*Ann. d. M.*, 4e série, t. XV.)
1861. Kjébulf et Dahl. — Om jernertsernes forekomst ved Arendal, Naes og agerœ. Christiania.
1866. Fuchs. — Traduction du mémoire précédent de Kjérulf sur les es de fer de la côte Sud-Ouest de la Norvège. (*Ann. d. M.*, 6e, t. IX, p. 269.)
1881. V. Groddeck, p. 181.

C. — GITES DE FER DE CONTACT

Les gisements filoniens localisés au contact d'une roche éruptre et d'origine manifestement reliée à cette roche nous serviront transition entre les gîtes d'inclusion et les gîtes filoniens proement dits.

Pour le fer, nous rencontrerons, comme gîtes de contact, des nas de magnétite produits, en général, lorsqu'une roche éruptive sique a traversé des calcaires. C'est ainsi que nous étudierons : ns le Banat, les gîtes de Moravicza, Dognaska, etc., au contact de

[1] Page 707.

diorites et de calcaires jurassiques; dans l'Oural, ceux de la Visokaja-Gora dans la syénite, près du calcaire silurien; en Piémont, ceux de Traverselle, qui passent déjà aux filons simples (type du cap Calamita), mais sont au contact d'éclogites et de syénites.

Dans tous ces cas, la magnétite est accompagnée de sulfures divers en assez grande abondance, en particulier de sulfures de cuivre par une association que nous indiquions déjà un peu plus haut [1]. Dans le Banat il arrive fréquemment que ces sulfures constituent la masse dominante, et c'est ainsi que nous nous trouverons signaler, à propos du fer, et pour ne pas rompre l'unité du sujet, des mines exploitées pour cuivre, zinc, plomb etc...; dans l'Oural, le cuivre, rare dans la magnétite même, s'est concentré à son voisinage par des réactions secondaires en minerais oxydés ou carbonatés exploités à Mednoroudiansk, etc...; enfin, à Traverselle, on a extrait de la chalcopyrite dans la même mine commencée d'abord pour magnétite.

Peut-être la formation de ces gîtes est-elle explicable par une combinaison des actions hydrothermales et des actions ignées, le plissement qui a amené la montée de la roche éruptive ayant produit l'introduction dans les couches profondes des eaux de la surface, leur minéralisation en profondeur par les fumerolles échappées du bain igné et leur remontée par la cassure même qui amenait la roche éruptive. C'est alors que les roches encaissantes calcaires auraient produit la précipitation des métaux dissous, précipitation à haute température en milieu basique et réducteur, suivie d'une cristallisation où la chaleur, avec ou sans refusion ignée, a dû jouer un rôle.

GITES DE CONTACT DU BANAT, DE LA HONGRIE ET DE LA SERBIE

(*Amas d'oxyde de fer, magnétite et sulfures divers, le long de diorites d'âge intermédiaire entre le néocomien et le miocène.*)

Il existe, dans le Banat, la Hongrie et la Serbie, une bande de 300 kilomètres de long, dirigée Nord-Sud, composée de roches

[1] Page 656.

éruptives, appelées autrefois syénites, puis considérées par V. Cotta comme très diverses : syénite, diorite, diabase, porphyrite, etc..., et réunies par lui sous le nom général de banatites, enfin reconnues par Niedzwieski comme des diorites. Ces roches traversent, en les métamorphisant et les disloquant, les schistes cristallins, le jurassique et le néocomien déjà plissés précédemment par un mouvement mécanique qui a fait apparaître au jour les combustibles jurassiques de Steierdorf et de Doman. Le miocène, au contraire, s'appuie sur elles en couches horizontales : ce qui fixe, entre le néocomien et le miocène, l'âge de leur apparition.

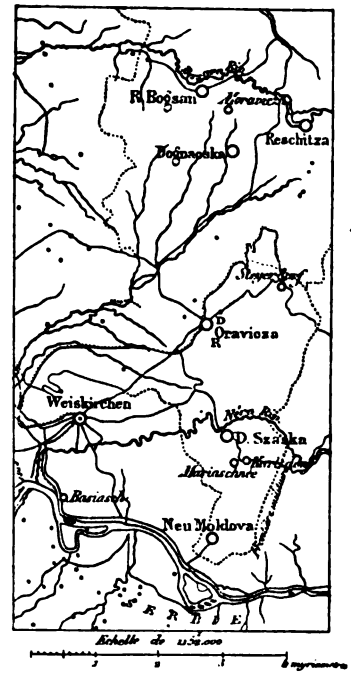


Fig. 98. — Carte d'une partie du Banat de Temesvar, d'après M. Castel.

Au contact de la banatite, les calcaires traversés par elle sont devenus saccharoïdes et se sont transformés en marbres : en outre, dans l'intervalle entre le calcaire et la banatite, il s'est produit une brèche à éléments calcaires, chargée de quartz et de feldspath et cimentée par du grenat, que les mineurs appellent la *gangue*. Cette gangue qui, au voisinage des schistes cristallins, renferme beaucoup de trémolite et de hornblende, contient, à l'état de lentilles irrégulièrement disséminées, des minerais extrêmement divers que l'on retrouve et que l'on exploite depuis la Hongrie jusqu'à la Serbie: à Milova et Rezbanya en Hongrie; à Moravicza, Dognaska, Oravicza-Csiklova, Szaszka, Moldova, dans le Banat; à Kuczaina, Rudnik et Majdanpek, en Serbie.

Ces minerais sont, suivant les points, du fer oxydulé, du fer oligiste, avec des sulfures divers, pyrite, chalcopyrite, galène, blende, etc., mélangés en proportions variables; les produits, très complexes, des usines où on les traite sont la fonte, le cuivre, l'argent, le plomb, etc.

Nous reviendrons sur plusieurs de ces gîtes à propos des minerais complexes, au chapitre du *Plomb*; nous dirons seulement ici quelques mots des gîtes de fer proprement dits.

Moravicza et Dognaska. — De Dognaska à R. Bogsan, sur 13 kilo-

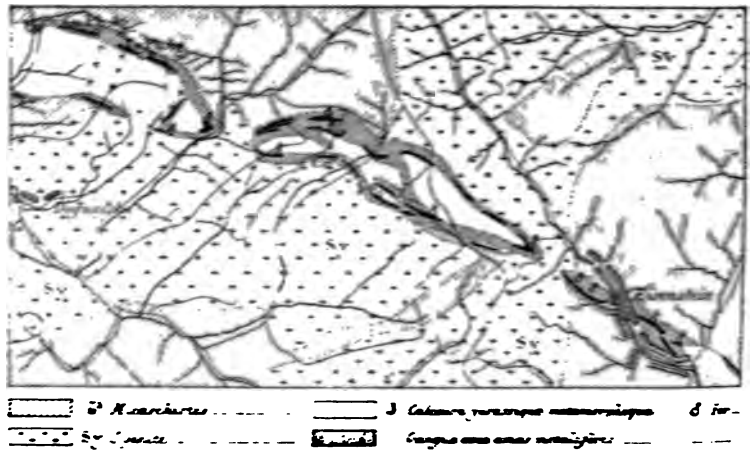


Fig. 99. — Carte géologique de la région de Dognaska, d'après M. Castel.
Echelle au $\frac{1}{50\,000}$.

mètres de long, une bande de banatite de 2 300 mètres de large est entièrement comprise dans les micaschistes, sauf au centre où elle a rencontré et métamorphisé un lambeau de calcaire jurassique. Il s'est formé là, près de Moravicza, une gangue grenatifère très nette contenant trois groupes de mines : 1° au Nord, autour de Moravicza (Eisenstein), des amas de fer oxydulé et de fer oligiste; 2° au centre du district, des sulfures divers associés aux amas de minerais de fer limités au voisinage de la surface; 3° au Sud, des gîtes de cuivre, zinc et surtout plomb argentifère, à l'affleurement desquels un peu d'hématite ne joue plus qu'un rôle secondaire.

D'une façon générale, tous ces gîtes sont absolument limités comme l'est le calcaire lui-même qui a joué, dans la précipitation des métaux, un rôle essentiel.

Le type des gisements du premier groupe a été donné par les mines Paulus et Franciscus. A *Paulus* (fig. 100), on trouve un amas considérable de gangue grenatifère enveloppant quelques gros lambeaux calcaires détachés du massif principal. Les amas de minerai

les plus volumineux sont dans la gangue, au contact du calcaire ; dans le reste de la masse, le minerai est disséminé irrégulièrement et constitue parfois la moitié du volume total. La section de cette masse ferrugineuse était, à la surface, de 4 000 mètres carrés.

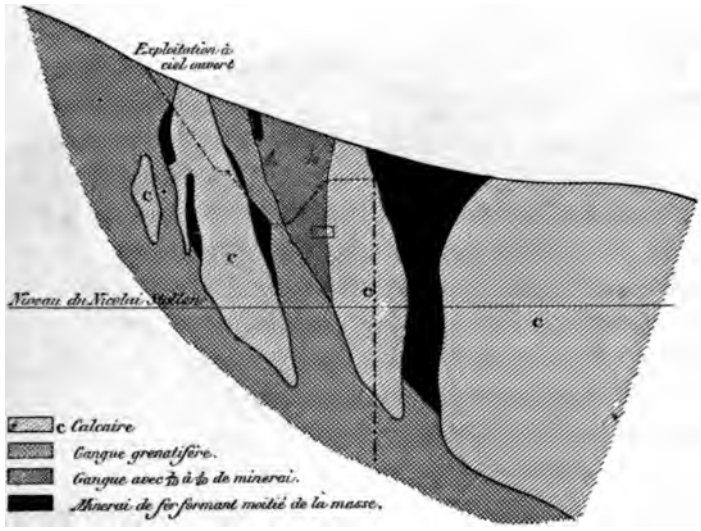


Fig. 100. — Mine Paulus, coupe S.-O.—N.-E.
Echelle au $\frac{1}{2000}$.

A *Franciscus*, il ne subsiste plus de rognons calcaires au milieu de la gangue : on a simplement une série de lentilles de minerai de fer alignées dans cette gangue, qui remplit elle-même une sorte d'entonnoir.

Plus au Sud, on trouve à *Reichenstein*, à *Pierre et Paul*, etc. (fig. 101), des amas lenticulaires de fer magnétique à peu près pur, presque adhérents au calcaire, allongés suivant la direction et l'inclinaison. L'amas de Pierre et Paul avait, au jour, 40 mètres de long sur 10 mètres de large. En profondeur, il s'est imprégné de pyrite de fer et perdu dans la gangue.

A *Arpad*, on a une veine d'hématite manganésifère de $0^m,60$ à 1 mètre d'épaisseur moyenne, rendue impure par la présence d'un peu de plomb.

Au *Bleistock*, c'est le plomb qui dominait : à la surface, on a eu un amas de galène de 3 000 tonnes mélangé de cuivre oxydé. A *Simon Judas*, des minerais de cuivre, cuivre pyriteux, cuivre

panaché et cuivre sulfuré, un peu argentifères avec gangue grenatifère, formaient une poche d'environ 120 mètres de haut sur 25 mètres de diamètre moyen. La teneur à la surface était de 300 kilogrammes de cuivre et 600 grammes d'argent à la tonne. Après

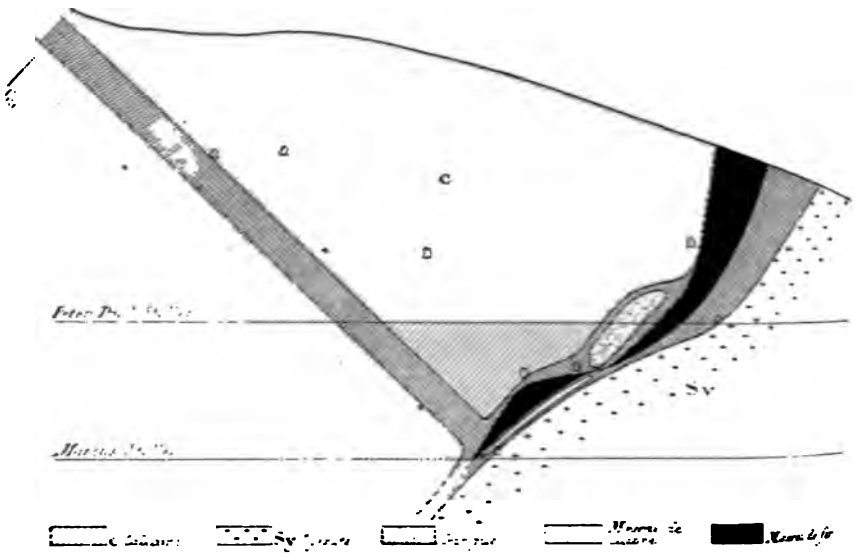


Fig. 191. — Mines Pierre et Paul Bimat. Coupe O.-N.-O. — E.-S.-E., passant par le Puits k.

Échelle au $\frac{1}{500}$.

45 ans d'exploitation, de 1740 à 1784, on est arrivé au fond de la poche où la teneur n'était plus que de 2 p. 100 de cuivre. La *Carolina* contenait de la calamine dans un entonnoir de 40 mètres de diamètre, etc. Enfin les gisements du troisième groupe au Sud consistent en nids, en rognons de galène, blende, cuivre pyriteux, etc...[1].

GITES DE FER DE L'OURAL

VISOKAJA-GORA PRÈS NIJNI-TAGUIL, BLAGODAT, ETC.

(*Amas de magnétite avec chalcopyrite dans la syénite au voisinage du calcaire.*)

Il existe, sur le versant asiatique de l'Oural, un certain nombre de gisements de fer, dont celui de la Visokaja-Gora, près Nijni-Ta-

[1] Voir la bibliographie, au chapitre du *Plomb*.

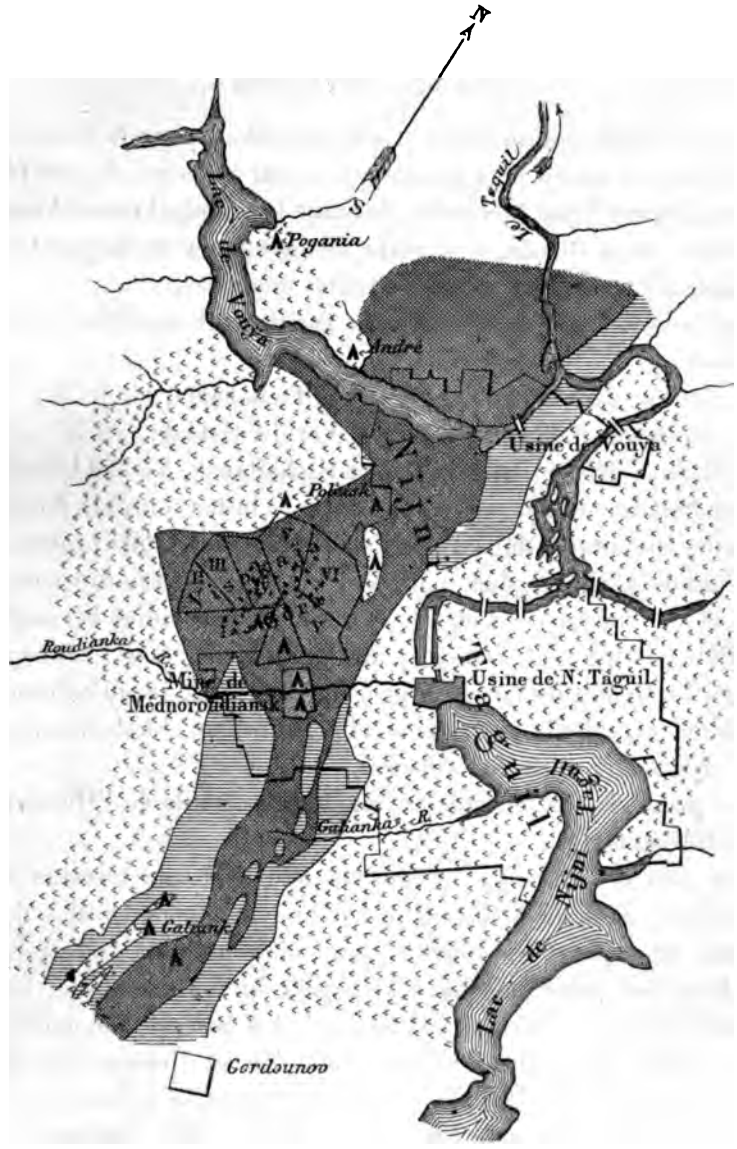


Fig. 102. — Carte des gisements de fer de la Visokaja-Gora (d'après M. Coste).

Échelle au $\frac{1}{100000}$.

guil, est le plus considérable et qui présentent pour la Russie une importance d'autant plus grande qu'on leur a assuré, depuis 1886, sur la foire de Nijni-Novgorod, devenue le principal marché métallurgique de la Russie, une sorte de monopole en frappant d'un droit de 62 francs par tonne les fontes anglaises.

Les usines à fer du domaine de Taguil sont réparties en trois groupes :

1° Groupe de Taguil (Taguil, Laya, Tschornaïa, etc.);

2° Groupe de Salda (Nijni-Salda, Vernhé-Salda);

3° Groupe du Sud-Ouest (Visima Eschaitansk, Visima Utkinsk).

Pendant longtemps, ces mines ont eu à lutter contre la difficulté de leurs communications avec l'Europe, mais les droits protecteurs dont nous parlions plus haut, qui ont eu pour contre-coup de ruiner les anciennes usines de l'Ouest, en particulier les aciéries de Pétersbourg, ont assuré, pour le moment, leur fortune; en outre, le chemin de fer a été prolongé, en 1885, jusqu'à Perm sur la Kama et, depuis lors, on a relié Taguil par Ekaterinenbourg aux réseaux européen et sibérien.

Au point de vue géologique, les deux versants de l'Oural sont très différents.

Du côté de l'Europe, affleurent une série de terrains sédimentaires dont la direction est très sensiblement celle de la chaîne elle-même, les couches étant d'autant plus redressées et bouleversées qu'on se trouve plus près de son axe. Dans le district de Taguil, on trouve : à la base, c'est-à-dire presque dans l'axe de la chaîne, des schistes talqueux rattachés au silurien ; plus haut, toute l'épaisseur du dévonien; enfin, au-dessus, le carbonifère inférieur et moyen. Quelques pitons de diorite ou de diabase de très faible étendue recoupent ces divers terrains.

Sur le versant asiatique au contraire, où se trouvent les gisements de fer de la Visokaya-Gora et les mines de cuivre de Mednoroudiansk, les terrains sédimentaires font presque complètement défaut. Le sol est uniquement formé par des roches anciennes, granites, gneiss, diorites, diabases, syénites, serpentines, au milieu desquelles les formations sédimentaires anciennes n'apparaissent que par lambeaux. Des alluvions d'une faible épaisseur, où l'on a trouvé des mammifères (Rhinocéros Tichorinus, Bos et Elephas

rimigenius) reposent directement sur ces roches, dans l'Ouest de Sibérie.

Dans les environs immédiats de Nijni-Taguil, on rencontre surut deux catégories de roches :

1° Diorites et diabases toujours très dures, généralement à gros ains, parfois un peu gneissiques, constituant une longue bande rallèle à l'Oural;

2° Une bande parallèle de roches autrefois qualifiées de porhyres et de trapps[1] où l'on trouve : 1° des syénites de couleur aire, composées, d'après la détermination de M. Michel Lévy, de ica noir épigénisé en chlorite et d'anorthose; 2° des roches sombres ttachées aux diabases (ou grünstein) par M. Gladki. A la Visoaja-Gora, aussi bien qu'à Blagodat, les gîtes de fer sont toujours relation avec les syénites claires, pauvres en silicate de fer, mais avec les diabases et roches augitiques beaucoup plus riches ue les premières en silicates ferreux.

Au milieu de cette bande de syénites et diabases, se trouvent es lentilles calcaires d'assez faible dimension que leurs fossiles ttachent, soit au silurien supérieur, soit au dévonien; des serentines[2] et quelques lambeaux de schistes. D'après les descriptions, es terrains sembleraient antérieurs aux diverses roches qui les uraient bouleversés suivant une zone de plissement.

Les produits métallifères du district que nous mentionnerons à ette occasion sont, en dehors du cuivre de Mednoroudiansk, de or et du platine sur lesquels nous aurons l'occasion de revenir, manganèse et le chrome.

Manganèse. — On trouve, à 7 kilomètres au Nord de la mine de r de Taguil, à Sapalsky, des minerais de manganèse à 64 p. 100 oxyde Mn^3O^4 en morceaux roulés au milieu d'argiles rouges et unes. En 1887, on en a extrait 830 tonnes, employées à Taguil à fabrication du ferro-manganèse.

Chrome. — On rencontre, dans les serpentines, des fers chromés,

[1] Voir 1888. GLADKI. — Gorni journal, n° 1.

[2] Ainsi, au mont Solowskaïa, au N.-O. de la montagne blanche, d'où paraît provenir platine exploité dans la région.

utilisés soit pour la fabrication du ferro-chrome, soit directement à l'état de minerai pour le revêtement des fours Martin (procédé Valton).

Fer. — On constate, dans tout l'Oural moyen, une corrélation remarquable entre les gîtes de fer magnétique et les gîtes de cuivre [1]. Non seulement les minerais de fer contiennent des traces de pyrite de cuivre, mais on trouve presque toujours, dans le voisinage des gîtes de fer, des mines de cuivre oxydé dont l'exploitation est souvent importante. C'est ce qui a lieu, en particulier, pour le gisement de fer magnétique de la Visokaja-Gora, au Sud duquel se trouvent les mines de cuivre de Mednoroudiansk et de Galiansk. Au Nord et au N.-O. de ce gîte, on connaît des affleurements cuivreux à Polensk, Andréewsk et Vouya et, sur les deux rives de l'étang de Vouya, on trouve ceux de Gorialow, Estiunin et Koriakow. A cinq kilomètres au Nord de la Visokaja-Gora, se trouve la mine de cuivre Ivanow, tout près du gîte de fer magnétique cuivreux de Lebiajinsk. Plus au Nord, le gîte de fer de la montagne Lipovaïa est près de la mine de cuivre de Chachinsk. Enfin, à 50 kilomètres au Nord de Taguil, Blagodat est dans les mêmes conditions, etc. On l'explique, ainsi que nous le verrons, en considérant les gîtes de cuivre comme le résultat d'une concentration secondaire du cuivre contenu primitivement à l'état de pyrite dans le fer magnétique et dissous par les eaux superficielles pour être reprécipité ensuite au contact des calcaires.

Les minerais de fer de la Visokaya-Gora constituent, dans la syénite (et non dans la diabase, grünstein, comme l'ont dit Müller et V. Groddeck), au voisinage d'une bande de calcaire silurien, un amas de fer magnétique plus ou moins oxydé et transformé en martite (sesquioxyde de fer). Cet amas, que l'on avait d'abord considéré comme constituant une grande partie de la masse de la montagne et se reliant à d'autres amas également inclus dans la syénite, ne forme en réalité, dans sa plus grande extension,

[1] Cela correspond à ce que nous avons dit plus haut, pages 656 et 660.

qu'un placage relativement mince sur les flancs de la colline[1]. Les exploitations à ciel ouvert de la section de Taguil rencontrent déjà, en bien des points, la syénite stérile ; et, de même, dans le gîte semblable (situé plus au Nord) de Blagodat, les travaux de recherches ont toujours trouvé, au centre de la montagne, une syénite analogue.

Cependant le minerai est bien inclus dans la syénite, puisque celle-ci qui existe, en général, au mur, se retrouve également au toit sur le côté Est de la section.

Il est presque toujours poreux, friable et très facilement réductible au haut fourneau; sa composition moyenne est la suivante :

Si^2O . .	2,60	Fe^2O^3 . .	74,09	Fer contenu : 65,20 p. 100.
Al^2O^3 .	2,86	Mn^2O^4 .	2,84	
Fe^2O^4 .	16,71	CaO . .	0,40	

Au point de vue de sa genèse, il est intéressant de noter comment les diverses impuretés y sont réparties. Le soufre et le phosphore s'y rencontrent d'une façon très irrégulière, le soufre en pyrite de cuivre, le phosphore à l'état d'apatite, comme on peut le constater surtout dans certains gîtes voisins (Lebiajinsk, au Nord) où la proportion en est plus forte (au moins 0,20 à 0,80 p. 100) et où alors l'apatite devient visible[2]. Au Sud, du côté de Mednoroudiansk, ces traces de soufre et de phosphore sont tout à fait insignifiantes ; au contraire, au N.-E. (Rewdinsk), on a jusqu'à 0,75 p. 100 de soufre ; 0,57 à 0,90 d'acide phosphorique et, en même temps, passablement de cuivre. Le zinc se présente en franklinite ; le cobalt (sans nickel) en rabdionite (cobalt oxydé noir avec 30 p. 100 de protoxyde de manganèse). Enfin, l'on a pu, dans tous les gîtes semblables de l'Oural, à la Visokaya-Gora, à Lebiajinsk, à Blagodat, constater la présence du vanadium[3] qui se concentre dans les scories des fours comtois, où l'on trouve 0,059 p. 100 d'acide vanadique.

[1] M. Daubrée a eu l'occasion de décrire les gîtes de l'Oural comme des inclusions, situées : la Visokaja-Gora dans un grünstein, Blagodat dans un porphyre augitique et Katschanar à 55 kilomètres au N.-O. de Blagodat, dans une roche augitique traversant les schistes amphiboliques.

[2] On retrouve le même fait dans certains minerais de Norvège.

[3] Associé de même au phosphore et au fer dans les minerais de Meurthe-et-Moselle.

Dans son ensemble, ce gîte semble avoir subi une altération superficielle qui a eu pour résultat de dissoudre et d'entraîner inégalement l'apatite et la pyrite de cuivre qui y auraient existé d'abord associées au fer magnétique, comme dans les gîtes de Rundaglava et de Tschemaka cités par V. Cotta en Serbie, comme dans ceux de Santa-Ritta et Hanover, mentionnés par Poszepny au Nouveau-Mexique.

Cette altération superficielle aurait eu alors pour effet de créer, au voisinage du gisement primitif, des gîtes secondaires : d'une part d'argile à fragments de minerais de fer résultant de la décomposition de la syénite, qui constitue, dans certaines sections de la Visokaya-Gora, le seul gîte de fer exploité ; d'autre part, d'argile à minerais oxydés de cuivre représentée, près de la Visokaya-Gora, par Mednoroudiansk et, près de toutes les autres mines de fer magnétique, par les mines de cuivre connexes, ci-dessus mentionnées.

Dans cette hypothèse, le type primitif du minerai serait, entre la Visokaya-Gora et Mednoroudiansk, certain minerai exploité pour cuivre et considéré comme très spécial. C'est, au contact du calcaire fortement altéré, un fer magnétique contenant en moyenne 2 p. 100 de cuivre sous forme de pyrite, et 0,77 d'acide phosphorique en apatite.

On en a même conclu que toute la Visokaya-Gora devait être considérée comme un gîte de contact entre la syénite et le calcaire et, ce qui peut donner quelque fondement à cette idée, c'est, outre le voisinage en effet toujours presque immédiat du calcaire, la présence, sur le sommet de la montagne, de masses de calcite et grenat semblables à celles qu'on trouve près des gîtes de ce genre[1].

L'étude de la mine de cuivre de Mednoroudiansk nous aidera plus tard à préciser les conditions dans lesquelles semblent s'être faites l'altération du minerai, sa purification locale en phosphore et en cuivre, et la concentration secondaire du cuivre.

Remarquons seulement que, par un fait également noté à Blagodat par M. Ronkiewitsch, le fer se trouve uniquement dans les roches syénitiques pauvres en silicate ferreux, alors que tout le

[1] Voir au Banat, page 661.

flanc de la montagne constitué de roches à augite et à amphibole n'en contient pas.

Exploitation. — On a extrait, en 1887, 67550 tonnes de minerai revenant sur place entre 2 fr. 55 et 3 fr. 35 par tonne, prix auquel il faut ajouter 0 fr. 37 pour le transport à l'usine de Taguil. On a occupé à la mine, dans le même temps, 292 hommes et 146 femmes et enfants.

Bibliographie.

1849. Zerrenner. — Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch., t. I, 1849, p. 475.
1866. Muller. — Berg. u. Hütt. Zeitung, p. 54.
1881. V. Groddeck, p. 190.
* 1888. Coste. — Mémoire sur l'industrie du fer à Nijni-Taguil (manuscrit à l'École des Mines).
1890. Daubrée. — Eaux souterraines : sur Blagodat et Katschanar.

GITE DE TRAVERSELLE[1]

(*Amas filonien de magnétite et chalcopyrite, au contact de l'éclogite et de la syénite, dans les micaschistes.*)

La région de Traverselle, à 20 kilomètres d'Ivrée en Piémont, est constituée par de beaux gneiss supérieurs passant aux micaschistes, contre lesquels viennent s'adosser des quartzites et calcaires peut-être siluriens. Ces gneiss sont traversés par des granulites, des syénites, des porphyres, et par des « roches vertes » à manière d'être extrêmement variable, diorites, serpentines, éclogites, auxquelles les gisements que nous allons étudier paraissent liés.

Ces gisements, situés à l'Est de la petite vallée de la Berselle, se composent de trois grands systèmes d'amas considérés comme filoniens et orientés N.-O.-S.-E., au contact de l'éclogite et de la syénite, dans le micaschiste : l'un, nommé Riondello ; l'autre, un peu plus haut dans la vallée, Castiglione ; le troisième, Gias del Gallo.

Riondello lui-même comprend les filons Cascia-Grande, et Cascia-delle-Trone, situés dans la syénite, avec un amas important exploité autrefois à leur rencontre.

[1] Coll. *Ecole des Mines*, 1518 et 1729.

Castiglione est au contact des gneiss et de la syénite.

A Gias del Gallo, les amas, moins exploités jusqu'ici par suite des difficultés de communication, sont également au contact de la syénite.

L'amas principal de Riondello a une direction générale du S.-E. au N.-O ; il est connu sur 360 mètres de long et 150 de profondeur, avec une inclinaison de 50 à 60° et présente beaucoup de ramifications appelées filons, qui ont jusqu'à 30 mètres de puissance. Ces ramifications renferment des zones de minéraux parallèles aux salbandes et des géodes avec cristaux qui indiquent bien que ce sont des cavités remplies après coup.

La masse se compose, en général, de magnétite à gangue de calcite ou de quartz ; mais parfois les sulfures, pyrite, pyrrhotine et chalcopyrite, dominent assez pour donner de véritables gîtes de cuivre. C'est ainsi que l'on a trouvé, dans certaines zones de calcite, des lentilles de chalcopyrite de plusieurs milliers de tonnes. Cette association de la magnétite avec la pyrite de cuivre est très désordonnée, si bien que la mine, après avoir été exploitée d'abord pour fer, puis abandonnée il y a une trentaine d'années, lors de la première baisse du fer, a pu être reprise pour cuivre dans d'autres parties [1].

La chalcopyrite semble accompagnée de chlorite secondaire analogue à celle qui l'entoure à la Prugne (Allier) ; elle n'est pas enveloppée par la magnétite, mais au contraire la traverse, soit qu'elle ait été apportée par des sources postérieures, soit qu'elle résulte d'une sorte de sécrétion de la masse, analogue à celle qui, dans presque tous les gîtes de magnétite (Dannemora, etc.), isole de même des veines de sulfure.

M. Fuchs a rapproché ce gisement de celui d'Arendal ; à son avis, il y aurait eu, à Traverselle, trois venues métallifères distinctes,

L'exploitation de Traverselle date au moins de 1487. L'idée de reprendre la mine pour cuivre est de 1850 et est due à M. Sella. On a cherché alors à séparer magnétiquement le fer oxydulé du cuivre en faisant tourner une roue à 12 branches avec bobines de fer doux au-dessus des minerais placés sur une toile sans fin allant en sens contraire : procédé également employé en Suède pour le triage de la magnétite. Comme ce minerai contient un peu de mispickel, on le grillait d'abord afin de recouvrir ce mispickel d'une croûte oxydée un peu magnétique et de l'enlever ainsi. La dernière tentative pour exploiter Traverselle comme mine de cuivre, date de 1881 ; elle a eu peu de succès.

lus ou moins éloignées les unes des autres : la première d'arenalite (quartz et amphibole) avec magnétite, arendalite passant ar transitions à la syénite et accompagnée, comme à Arendal, omme à Dannemora, etc., de pyroxène, ouralite, grenat; la econde de pyrite de fer et de cuivre avec éléments magnésiens ; a troisième, qui paraît nettement postérieure, de calcite, braunsath et dolomie avec quartz et pyrite.

Pour V. Groddeck, c'est un véritable filon qu'il rapproche d'un isement curieux situé au cap *Calamita*, où de la magnétite très amifiée, avec amas à l'affleurement, traverse un calcaire grenu. Dans tous les cas, la magnétite se présente en relation avec des alcaires qui ont certainement joué un rôle dans la cristallisation lu fer sous cette forme.

Bibliographie.

1858. Scheerer. — Berichte der K. ges d. Wissensch, p. 91.
1859. Römer — In Leonhards Jahrb., p. 62.
1860. Burci. — Sur les mines de Traverselle (Pise).
1862. Burci. — Berg. u. Hüt. Zeit., 1862, p. 101.
1863. Piret. — Rapport sur les mines de Traverselle. (Paris, chez Poitevin.)
1863. Fuchs. — Notes de voyage inédites.
1881. Groddeck, p. 252, et Cotta, p. 354.
1886. Babu. — Mémoire manuscrit à l'Ecole des mines.

D. — GITES DE FER FILONIENS

Le minerai de fer exploité en filons est relativement rare. Von Groddeck, qui attribue d'une manière générale les substances filoniennes au lessivage des roches encaissantes, ou tout au moins des roches voisines, distingue, par une application logique de sa théorie : 1° les filons dans des roches; soit d'hématite dans des diabases : type Zorge (Hartz), soit de carbonate dans des micaschistes : type Allevard (cité par le traducteur, M. Küss) ; 2° les filons dans des terrains sédimentaires; soit d'hématite : type Haile (Caroline du Sud) et Bergzabern dans le Haardt; soit de carbonate : type Stalhberg, près de Müsen.

Cette théorie nous semble insuffisante pour expliquer les faits observés ; d'abord le passage constant d'un filon d'une roche dans un terrain voisin, et l'indépendance presque absolue qu'on remarque, dans bien des cas, entre la nature de la roche encaissante et le remplissage de la fente ; puis le manque, à l'époque actuelle, de dépôts filoniens semblables[1], etc.

Cependant il est fort possible et même probable que certaines veines relativement courtes, comme celles de Zorge, résultent d'une action secondaire ayant concentré, sous l'action des eaux, le fer disséminé dans les roches ; nous commencerons donc par dire quelques mots de ces filons de Zorge qui sont presque des gisements en roche, avant de décrire des filons proprements dits.

GITES DE FER DE ZORGE (HARZ)[2]

(*Veines d'hématite dans la diabase.*)

Les diabases et les porphyrites ont généralement la propriété de se décomposer en boules entourées d'une terre ocreuse, où se concentre l'oxyde de fer. Dans les diabases de l'Oberharz, on trouve, d'après Zimmermann, au lieu de cette terre, de véritable hématite rouge. Ces diabases sont traversées, aux environs de *Zorge,* par une série de fentes de toutes directions pénétrant rarement dans les schistes siliceux et les grauwackes voisines, fentes de $0^m,50$ à 1 mètre où, par un phénomène qui semble à V. Groddeck comparable, s'est concentrée de l'hématite rouge siliceuse compacte ou fibreuse avec du braunspath.

L'auteur allemand cite, d'après Cotta, dans le *Voigtland,* aux

[1] Nous renvoyons, pour ces discussions générales, à notre travail sur la formation des gîtes métallifères (Gauthier-Villars et Masson).

Il y a, selon nous, quelque chose de plus spécieux que réel dans cette observation que les eaux thermales actuelles renferment, en petites proportions, la presque totalité des produits de filons. Elles les contiennent, dans la plupart des cas, parce qu'elles circulent dans une réouverture de filons à remplissage ancien dont elles dissolvent partiellement les éléments et leurs propres dépôts ne sont, en dehors de la silice et des silicates, de la calcite et de l'aragonite, de la barytine, de l'oxyde de fer, de l'antimoine ou de l'arsenic sulfurés, etc., que bien peu de chose.

[2] 1834. ZIMMERMANN.— Das Harz Gebirge, p. 98.
1870. — Erläuterung zur geol. Specialkarte v. Preussen. Feuille de Zorge.
1881. V. GRODDECK, p. 205.

ons de Wickau, des veines ferrugineuses analogues, au con-
le diabases et de grauwackes et, dans la diabase même, des
s semblables très irrégulières, souvent sans salbandes
ctes, et présentant de nombreux passages de la diabase
gineuse à l'hématite proprement dite.

sont là des phénomènes superficiels qui, pour être réels,
ont pas moins dû, à notre avis, jouer un rôle extrêmement
int dans les formations filoniennes.

même, pour le cas mentionné par Credner à la mine d'or
ile (Caroline du Sud [1]) où un filon de diorite, traversant un
e quartzeux aurifère, est accompagné de deux filons d'héma-
rune de $1^m,10$ de puissance formant des salbandes : filons que
ier a interprétés comme des fentes résultant du retrait de la
e au moment de sa solidification, et remplies par le lessivage
rites du schiste encaissant ; ou encore pour les filons bréchi-
s à ciment de limonite dans les grès bigarrés de *Bergzabern*
dt [2]).

us allons maintenant considérer quelques types qui repré-
nt pour nous des filons proprement dits :

Filons de magnétite. — Nous nous contentons de rappeler
pes déjà décrits de Traverselle et Cap Calamita.

Veines d'oligiste. — Iron-Mountain.

*Filons d'hématite dans les schistes et de fer spathique dans
lcaires, passant au fer carbonaté en profondeur.* — Rancié,
nigou, côte de Gate en Espagne (Murcie et Almeria).

Filons de sidérose. — Allevard ; Stahlberg, etc.

TE DE FER D'IRON-MOUNTAIN (MISSOURI)

(*Veines d'oligiste dans un mélaphyre porphyroïde.*)

gisement d'Iron-Mountain se compose de veines de fer
te au milieu d'un mélaphyre porphyroïde. Ces veines, recou-
par une faille, se rattachent à un amas de 10 à 20 mètres de

0. CREDNER. — Zeitsch. f. d. gesammt Naturwissensch., t. XXXV, p. 20.
1. V. GRODDECK, p. 257.
1. V. COTTA. — Erzlagerstätten et GRODDECK, p. 254.

puissance. Le fer oligiste contient beaucoup de cristaux d'apatite et prend, lorsque celle-ci a été dissoute, un aspect caverneux.

Au-dessus du minerai, toute la surface de la montagne était autrefois recouverte d'une couche d'argile avec blocs de minerai empâtés, couche analogue à celle qu'on exploite à la Visokaja-Gora [1].

Pour V. Groddeck, ce gîte est un gîte d'inclusion dans une roche éruptive; l'hypothèse d'une venue filonienne nous paraît plus vraisemblable.

Bibliographie.

1869. Kleinschmidt. — B. u. H. Z., p. 357 et 373.
* 1876. Wedding. — Zeitschr. f. B. H. u. S. W. im. preus. St., t. XXIV, p. 343.
1881. Groddeck, p. 192.

GITES DE FER DU MASSIF DU CANIGOU (PYRÉNÉES-ORIENTALES) ET DE RANCIÉ (ARIÈGE)

(*Filons d'hématite, avec fer carbonaté dominant en profondeur, d'âge probablement éocène.*)

Les Pyrénées-Orientales et l'Ariège comprennent quelques mines de fer d'un certain intérêt.

Ce sont, autour du Canigou dans les Pyrénées-Orientales, les mines de Fillols, Olette, Py, Saint-Etienne-de-Pomers, Patère, etc... : en tout 9 concessions (dont Fillols est la principale) ayant, en 1888, produit 33 394 tonnes de minerai hydroxydé à 12 fr. 21 et 6 908 tonnes de fer spathique à 7 fr. 58 et 8 minières ayant, dans la même année, donné 9 591 tonnes de minerai hydroxydé à 5,91 et 1 255 tonnes de fer oligiste à 10 fr. 75[2]. Dans l'Ariège, 5 concessions exploitées, dont la principale est Rancié, ont, en 1888, produit 72 523 tonnes d'hématite brune à 9 fr. 76; en 1890, 11 228 tonnes valant 108 084 francs.

Ces minerais ont eu, au début des emplois du Bessemer,

[1] Voir plus haut, p. 670.

[2] En 1890, la production totale a été de 60 280 tonnes de minerai et 4 610 de fonte.

ıqu'on recherchait tout spécialement les minerais purs, une nde réputation. Encore aujourd'hui, quelques gisements sont, ıme le montrent les chiffres précédents, activement exploités. ont cela pour eux, que le prix de revient sur place est généralent très économique : 2 à 3 francs d'abatage par tonne; mais, suite de leur situation dans un pays de montagnes, les frais transport sont assez élevés.

endant longtemps, on n'a exploité uniquement que les hémas en négligeant le fer spathique qui tend à dominer en profonır; aujourd'hui, celui-ci forme à peu près un huitième de traction.

es gisements du Sud de la France sont des filons recoupant schistes et les calcaires avec interstratification locale et éparement en veines dans les schistes, formation de gros amas ıs le calcaire. Nous aurons à discuter, tout à l'heure, une orie qui veut les considérer comme des couches sédimentaires temporaines des terrains encaissants. Entre autres arguments tre cette hypothèse, nous noterons, dès à présent, que des gîtes même nature et en relation bien probable les uns avec les res se trouvent : au Canigou, dans le silurien ; à Rancié, dans calcaires liasiques; à Saint-Martin, dans un calcaire rattaché crétacé. Se fondant sur cette remarque, Dufrénoy avait admis, ır tous ces gisements, un âge postérieur au crétacé, problablent éocène.

e minerai principal est : dans les beaux amas situés au milieu calcaire, de l'hématite avec du fer carbonaté accessoire dont la eur en fer, même après grillage, ne dépasse pas 40 p. 100 et , pour cette raison, on négligeait autrefois.

1° GISEMENTS DU CANIGOU[1]

. — CONSTITUTION GÉOLOGIQUE DE LA CHAINE DU CANIGOU

La chaîne du Canigou, dernier contrefort oriental des Pyrées, est formée par un puissant massif granitique qui s'élève

[1] Coll. *École des Mines*, 1570 et 1622.

brusquement au-dessus de la plaine de Perpignan, et dont le sommet atteint une hauteur de 2 785 mètres.

Le versant septentrional est recouvert, jusqu'au bas des pentes, de schistes siluriens quartzeux, alternant avec des couches de grès et de conglomérats métamorphiques, et avec des couches de schistes micacés plus tendres et des calcaires. Ces formations sont disposées comme autant de gradins jusqu'au sommet. A la base de ces pics, sont une série de collines, dont l'altitude ne dépasse pas 1 200 mètres et qui sont constituées par des schistes argileux tendres renfermant des couches plus ou moins épaisses de calcaires. Ces collines contiennent généralement les gîtes de fer et offrent de nombreuses dislocations.

Aucune des couches n'est fossilifère ; ce n'est qu'en s'éloignant du massif granitique central, dans des couches de calcaires cristallins appartenant à l'époque dévonienne, et au-dessus d'une couche puissante de schistes graphiteux qu'on trouve des orthocères et des goniatites.

Le versant méridional de la chaîne du Canigou est principalement formé par le granite ; les schistes ne s'y trouvent qu'en lambeaux plus ou moins importants.

II. — HYPOTHÈSES SUR LA FORMATION DU MINERAI

Deux principales hypothèses ont été soutenues sur la formation des minerais de fer du Canigou : origine filonienne et origine sédimentaire[1].

Pour M. Braconnier, qui s'est fait le champion de la théorie sédimentaire, les gîtes sont régulièrement interstratifiés dans les schistes siluriens dont ils suivent les inflexions sans jamais les traverser et leur formation en lentilles est une conséquence des plissements qui ont étiré les schistes autour du minerai plus résistant et tronçonné celui-ci.

Les caractères qui semblent au contraire accuser l'origine filo-

[1] Pour V. Groddeck, ce sont des gîtes de contact qu'il rapproche de ceux de Christiania et du Banat, dans la catégorie générale des « remplissages de grottes ». Il semble résulter du texte qu'il admet un métamorphisme exercé par le granite, d'une part au Canigou sur les calcaires siluriens, de l'autre à Rancié sur des calcaires jurassiques et même à Saint-Martin sur des calcaires crétacés.

nne des gîtes sont, en dehors de l'âge différent des calcaires aissants dans des gîtes voisins :

° *Leurs ramifications profondes*, soit dans le calcaire ferrueux, soit dans les calcaires cristallins du toit;

° *La variation de leur puissance*, suivant la nature de la roche aissante;

° La disposition, analogue à celle des filons, *des amas métalli-s importants*, qui sont situés soit à l'intersection des filons avec schistes fissurés, soit surtout et presque exclusivement à la *:ontre des filons métallifères et des grandes masses calcaires;*

° *La forme columnaire de ces amas*, dont la plus grande ıension transversale se confond avec la direction des calcaires lont la section, prise dans son ensemble, paraît devoir dimi-:r vers la profondeur.

III. — NATURE DU MINERAI

.e minerai est, soit le *carbonate de fer* spathique, moucheté pyrite de fer, soit l'*oxyde de fer* à divers états. La variété xyde la plus commune est le *fer hydroxydé* brun; les autres iétés sont le *fer oligiste* en lamelles micacées près de la sur-:, l'*hématite rouge,* l'*hématite brune*, le *fer magnétique* (excepınellement puissant à Puymarens).

)n trouve des mélanges de ces minerais et tous les types interliaires. Le fer spathique renferme du carbonate de manganèse; même, les minerais oxydés tiennent du peroxyde de manganèse; trouve également de la galène, du quartz, de la calcite, du h-fluor.

In profondeur, le fer spathique semble avoir une tendance à ıiner, l'hématite superficielle n'étant probablement que le résulde son oxydation postérieure. Cependant il arrive parfois que matite n'affleure pas tout à fait jusqu'à la surface et soit seuleıt signalée par un affleurement de calcaire ferrugineux à teinte geâtre.

Voici d'ailleurs un *Tableau des analyses des minerais du ıigou :*

TABLEAU DES ANALYSES DES MINERAIS DU CANIGOU

NOM DES CONCESSIONS	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^4	Mn^2O^4	CaO	Mgo	SO^3	PhO^5	PERTE au feu	TOTAL	FER métallique
Puymarens	8,20	6.60	72.30	3,90	»	»	»	»	7,50	96,40	56,15
Canaveilles	4,60	1.30	92,30	»	»	»	»	0,03	1,60	99,83	64,61
Escoumps	3 à 12	0 à 6	66 à 79	1,3 à 7	0 à 6,30	0 à 6	0 à 0,3	0,06 à 0,12	6,5 à 29	»	46 à 56
Escaro Sud	2	»	77,9	8	0,20	traces	»	0,12	11,3	99,52	54,53
	5,6	0,6	77,1	6	0,30	traces	traces	traces	10,3	99,90	52,97
Escaro	1,6 à 6,30	0,6 à 2	75 à 78	6 à 8	0,2 à 0,6	traces	0 à 0,6	0,06 à 0,12	10 à 12	»	52 à 55
Hytua	5	»	73,20	9,20	»	»	0,05	0,11	12	99,56	51,44
Thorrent (minerai grillé)	8,20	»	84,76	4,40	»	0,03	0,16	0,05	1,90	99,5	59,33
Sahorre	9,40	2,78	73,66	1,13	3,35	»	»	»	10,18	99,5	51,56
	8,57	6,15	68,25	2,93	2,59	»	»	»	11,76	99,55	47,77
Vernet	7,50	0,75	72,57	5,30	1,60	»	»	»	11,88	99,6	51,20
Saint-Vincent (minerai grillé)	9	1	82	3,30	0,5	0,4	traces	traces	3,30	99,5	57,4
Ballestang	7	10,5	70,5	6	traces	traces	traces	0,05	16	99,5	49,35
La Pinouse	2,3	»	80,30	6	traces	traces	»	0,05	11	99,65	56,21
Le Pountet	2	»	84	4,5	0,3	traces	»	0,06	9	99,80	58,80
Le Boulet	11,50	traces	72,5	4	traces	traces	traces	0,10	11,50	99,6	50,75
Las Indis et Roques Nègre	4,10	0,5	85,70	6,15	1,10	0,25	traces	traces	11,05	99,85	60
La Tour de Batère	1,3 à 2	»	65,6 à 68.6	1,3 à 1	traces	traces	»	»	31 à 38	99.8 à 99,7	46 à 49
Velmanya	10	0,25	76	2,93	traces	traces	traces	0,04	9,9	99,14	53,2
Velmanya	8,1	2 1	75,19	4,2	traces	traces	0,07	0,09	9,9	99,65	52,63
Labastide (fer spathique)	4	»	68,3	2,3	traces	0,6	»	0,04	24,6	99,84	47,81
Labastide (fer oligiste)	3	traces	92,6	3,6	»	»	»	0,6	0,30	99,76	64,82

La *méthode d'exploitation* généralement adoptée dans les diverses mines est celle des piliers abandonnés.

IV. — ÉNUMÉRATION DES GITES PRINCIPAUX

Les mines de fer du Canigou peuvent se diviser en deux groupes principaux, le groupe de Batère et le groupe de Prades; la mine de Puymarens, située à l'Ouest du Canigou, ne peut rentrer ni dans l'un ni dans l'autre de ces groupes.

A. **Groupe de Batère.** — Dans le district de Batère, on connaît au moins quatre bandes calcaires principales; les filons métallifères qui les croisent sont au nombre de cinq à six. La direction de ces filons varie de N. 17° à N. 22° E. Ces filons paraissent avoir une grande extension en longueur. Le remplissage de toutes les mines du groupe est essentiellement de la mine blanche, c'est-à-dire un fer spathique carbonaté manganésifère. Les principales concessions de ce groupe sont les suivantes :

α). *Concession de Ballestang.* — La puissance de la couche exploitée est de 5 à 20 mètres; la couche est presque verticale. Elle se compose en allant du mur au toit de

0m,10 d'argile ferrugineuse.
0m,35 de fer spathique pauvre et pyriteux.
0m,32 pyrite compacte.
11m,23 hydroxyde brun manganésifère un peu pyriteux avec une teneur de 52 p. 100 de fer.

β). *Concession de la Pinouse et Sarrat-Magre.* — Ces mines ont été exploitées depuis la plus haute antiquité. Les anciens exploitaient en descendant par boyaux irréguliers, ne prenant que l'hydroxyde tendre ; il existe encore de ces descenderies s'enfonçant à plus de 250 mètres de profondeur.

Le minerai se compose ici de trois couches ou filons principaux. La première couche est très irrégulière; sa puissance varie de 1 mètre à 25 mètres; elle est inclinée de 70 à 80 degrés et se compose d'hydroxyde riche vers le haut et de fer spathique dans les parties profondes. La seconde couche a une puissance variant de 2 à 6 mètres. La troisième est peu connue.

γ). *Concessions de Las Indis et Rogues-Nègres.* — Ces gîtes ont été exploités de temps immémorial et sont ceux qui ont fourni le plus de minerai aux forges catalanes. Les couches exploitées sont les mêmes qu'à la Pinouse ; la seule des trois qu'on exploite est celle du milieu, elle est presque verticale, et sa puissance atteint parfois jusqu'à 75 mètres. Le minerai est de l'hydroxyde riche et manganésifère, mélangé d'une certaine quantité de fer spathique.

δ). *Concessions de Bernado et Dalt.* — Ces deux concessions ne renferment que quelques lambeaux de couches disloquées et enclavées dans le granite.

ε). *La Tour de Batère.* — Contient un lambeau de couche venant de la concession du Boulet, et une couche de Las Indis dont la puissance varie de 3 à 5 mètres. Le minerai est du fer spathique.

B. **Groupe de Prades.** — Dans le groupe de Prades, les gîtes sont distribués sur une bien plus grande surface, mais sur un nombre restreint de lignes très simples dont l'orientation varie de N. 83° à N. 78° E.

Une première ligne filonienne d'une longueur de 12 à 13 kilomètres comprend les gîtes du col de la Lauza, du Thorrent, de Sahorre et les affleurements de Falgonne et de Ballatche.

Une deuxième ligne parallèle à la première et presque aussi développée passe par les gîtes de Porsignan, Escaro Sud et Escaro d'Aval, et les exploitations du Vernet.

Sur une troisième ligne viennent se placer les gîtes de Fillols et les affleurements de Serra-Borma, d'Anglada, de Tauringa, et de la tour de la Baillesse.

Les principales concessions de ce district sont :

α). *Escaro Sud.* — Deux couches ont été reconnues ; elles ont une inclinaison de 30 à 40 degrés, plongent vers le Nord, ont un mur schisteux, un toit calcaire. La couche inférieure a une puissance variant de 10 à 35 mètres, la couche supérieure de 10 à 25 mètres. Le minerai est à la surface de l'hydroxyde passant au fer spathique en profondeur.

β). *Escaro Nord.* — Autrefois exploitée irrégulièrement, la formation métallifère se compose de 5 couches principales se

répartissant sur une puissance de 168 mètres. Les couches sont très régulières et varient en épaisseur de 10 à 30 mètres. Le minerai est de l'hydroxyde passant au fer spathique en profondeur.

γ). *Aytua.* — Les minerais sont fortement manganésés; le gîte comprend trois couches presque verticales, assez peu connues, de fer hydroxydé passant au fer spathique.

δ). *Concession du Thorrent.* — Le gîte comprend trois couches, qui sont celles de Aytua. La couche inférieure a une puissance de 8 à 16 mètres et se compose de fer spathique; la couche intermédiaire a une puissance moyenne de 14 mètres et produit de l'hydroxyde mêlé de carbonate. La couche supérieure est peu connue.

ε). *Concession de Sahorre.* — La concession comprend les trois couches du Thorrent, mais elles sont là d'une allure tourmentée, leur puissance varie de 7 à 30 mètres. On trouve de la galène en assez grande abondance sur la rive droite de la rivière de Sahorre; cette galène tient 70 p. 100 de Plomb et 0,0166 p. 100 d'Argent.

ζ). *Concession du Vernet.* — On y retrouve les trois couches de Sahorre et une quatrième couche indépendante de celles-là. La couche supérieure seule a été exploitée. Sa puissance moyenne est de 10 mètres, le minerai est de l'hydroxyde passant au fer spathique. La troisième couche a été l'objet d'exploitations à ciel ouvert; elle paraît se composer de deux bancs de minerai de $0^{m},90$ à 1 mètre de puissance séparés par des schistes.

ε). *Concession de Fillols.* — Cette concession, la plus importante de la région, est une des moins connues, bien qu'elle ait été fortement exploitée. L'exploitation, qui comporte plusieurs travaux à ciel ouvert, porte sur cinq couches distinctes et deux qui semblent être le prolongement des couches du Vernet. Leur puissance varie de 4 à 30 mètres; le minerai est de l'hydroxyde passant au fer spathique. On trouve une certaine quantité de galène rendant de 68 à 74 p. 100 de Plomb et de 0,0117 à 0,0142 p. 100 d'Argent.

λ). *Concession de Puymarens.* — Cette concession ne peut se rattacher ni au groupe de Prades ni à celui à Batère. Elle a été très

anciennement exploitée, surtout aux affleurements qui sont très considérables et s'étendent sur 300 mètres de largeur.

Le nombre des couches et l'importance du gîte sont peu connus.

La couche principale est orientée E. 35° S. et plonge de 55° vers le Sud. Le minerai est du fer magnétique mélangé à des traces de fer spathique et d'hydroxyde. La puissance considérable atteint parfois jusqu'à 150 mètres.

V. — CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES

Les chiffres suivants établissent, d'après M. Fuchs, le prix de revient de l'exploitation souterraine du groupe de Batère :

1° *Détail du prix de revient de l'exploitation :*

Par tonne de minerai cru.

Abatage proprement dit	2 à 3 fr.	
Chargement et roulage intérieur	0,40	
Huiles et graisses	0,12	
Fers des outils, fleurets, etc	0,35	(I)
Bois	0,20	
Poudre et divers	0,43	
	3,50 à 4,50	
Amortissement du matériel de mine	0,40	
Travaux préparatoires	0,25	(II)
Transport extérieur jusqu'au grillage	0,40	
	1,17	

Ces chiffres correspondent aux suivants pour une tonne de minerai grillé (la tonne de minerai cru donnant 750 kilogrammes de minerai grillé) :

Abatage	4,67 à 6,00
Amortissement, etc	1,56
Soit	6,23 à 7,56

2° *Détail du prix de revient de la tonne de minerai grillé.* — Le centre d'écoulement de ces minerais est Perpignan. Le prix de revient final s'établit ainsi :

	Par tonne de minerai cru	Par tonne de minerai grillé
Frais spéciaux d'abatage (I)	3,40 à 3,50	4,67 à 6,00
Amortissement, etc. (II)	1,17	1,56
Grillage et frais accessoires	2,40 à 2,90	3,20 à 3,87
Chargement sur chemin de fer à voie étroite		0,25
Transport des fours à Vinça		2,00 à 3,00
Transbordement sur le grand chemin de fer		0,17
Transport de Vinça à Perpignan		2,80
Frais généraux		Mémoire
Total (non compris les frais généraux)		14,65 à 17,65

2° GISEMENT DE RANCIÉ[1]

(Amas filoniens d'hématite, avec substitution dans des calcaires liasiques.)

Le canton de Vicdessos, où se trouve la mine de Rancié, est composé de gneiss, micaschistes, granite, silurien et lias (voir fig. 103). La montagne de Rancié elle-même est formée de couches liasiques; son sommet appartient au calcaire inférieur du lias. Un certain nombre de gisements de fer ont été exploités dans cette région : au milieu des calschistes siluriens, à Gestiés, au Bouischet (Lercoul), au Pinet, à Lescouil et à Nagot près Rancié; dans les calcaires liasiques, à la Canale, à l'Usclade et à Benazet sur la concession de Lercoul. Un seul a une réelle importance, c'est celui de Rancié.

La montagne calcaire liasique de Rancié montre, sur une hauteur de 600 mètres, depuis le sommet jusqu'au village de Sem, les entrées d'une série d'anciennes mines (fig. 104). Les couches calcaires sont Est-Ouest avec pendage Sud; le gîte métallifère est à peu près orienté et incliné comme les assises encaissantes; mais, dans son ensemble, il présente avec ces dernières une différence de stratification nette aussi bien dans son inclinaison que dans son pendage : les divers massifs métallifères tendent, en descendant la montagne,

[1] Coll. *Ecole des Mines*, 1690.

à pénétrer dans la roche du mur. De l'amas principal divergent obliquement des amas secondaires assez importants. Cet amas forme, en somme, suivant l'allongement, un triangle de 500 mètres de long, 900 mètres de haut et d'une épaisseur moyenne de $5^{m}.70$ pouvant atteindre localement 25 mètres.

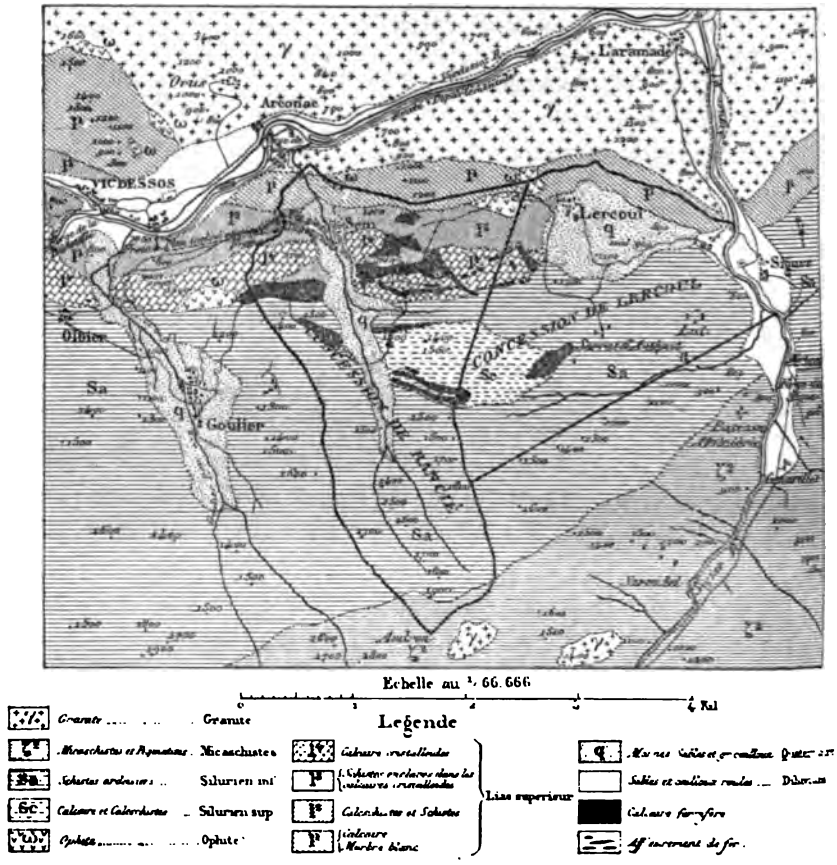


Fig. 103. — Carte géologique des environs de Rancié, d'après M. Mussy.

Dans ce triangle même, le minerai est loin d'être régulièrement réparti ; les plans de la mine font apparaître quelque chose comme trois colonnes partant à peu près du sommet et divergeant de plus en plus dans les régions profondes : la première voisine de la surface ayant été entièrement dépilée autrefois ; la seconde, passant par la Roque, Saint-Louis, Orléans, Sainte-Barbe et Becquey, enlevée dans

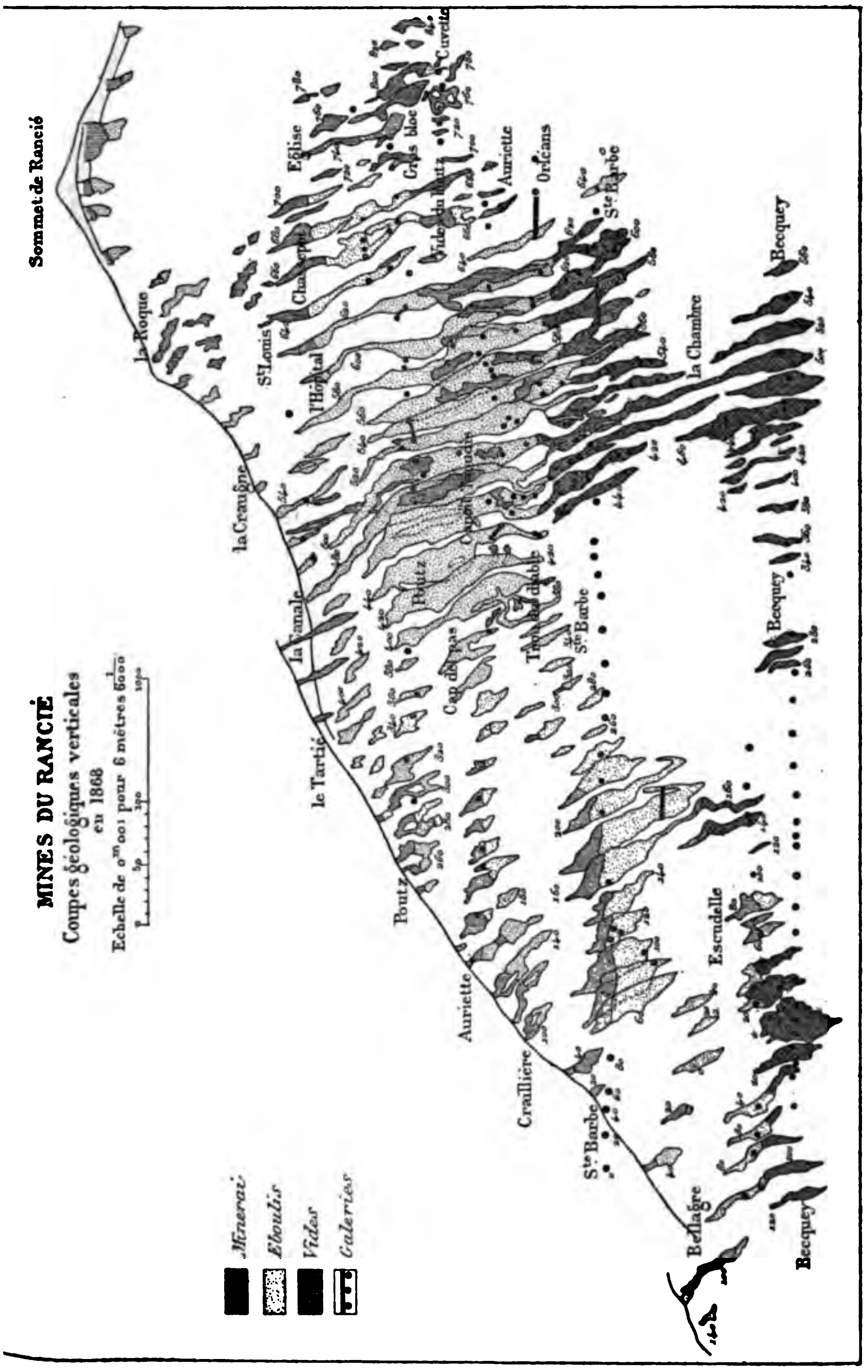

MINES DU RANCIÉ
Coupes géologiques verticales en 1868
Echelle de 0m001 pour 6 mètres
Minerai
Eboulis
Vides
Galeries
Sommet de Rancié
la Roque
St Louis
l'Hôpital
Eglise
Gros bloc
Auriette
Orléans
Ste Barbe
Becquey
la Chambre
la Craugne
la Canale
Boutz
Cap de pas
Trou du diable
le Tartié
Escudelle
Auriette
Craillière
Ste Barbe
Bellagre
Becquey

Fig. 104.

ses parties hautes, moins connue dans ses parties basses; la troisième qui constitue surtout l'avenir de la mine.

L'allure générale est celle d'un chapelet de lentilles séparées par des étranglements successifs; généralement ces lentilles sont reliées l'une à l'autre par quelque filet de minerai ou de terre argileuse servant de guide pour les rattacher. Lorsqu'un amas se termine par une veine unique, les recherches ont des chances pour trouver, à sa suite, un autre amas de même nature; si, au contraire, la veine se ramifie, ces rameaux ne tardent pas à disparaître et l'on rentre dans le calcaire intact qu'il faut traverser un peu à l'aventure pour arriver à un autre amas; assez souvent, la terminaison d'un amas est entourée par des calcaires ayant subi un commencement d'attaque chimique, calcaires spathiques et cristallins avec fer carbonaté, calcaires rouges imprégnés d'oxyde de fer qui passent par transitions insensibles à la roche stérile. C'est ce que l'on appelle le calcaire rouge métallifère. Parfois encore, la masse minérale se termine brusquement à un large banc de calcaire gris. L'ensemble des caractères correspond à un gîte filonien avec substitution.

Le calcaire encaissant est un calcaire gris bleuâtre, stratifié en bancs minces, souvent feuilletés; au toit, il existe une salbande argileuse régulière; au mur, l'action des eaux récentes, suivant la ligne de séparation, a creusé souvent des grottes et accumulé un mélange d'argile avec cailloux arrondis. En outre, ce mur est fréquemment pénétré, jusqu'à 15 et 20 mètres, d'oxyde de fer dans toute sa masse avec grandes veines de minerai.

Le minerai comprend :

1° Un mélange d'hématite brune et rouge où la brune domine, compact, cristallin, appelé *minerai ferru*, qui compose la majeure partie du gisement; l'oligiste grenu y est fréquent au contact des concrétions d'hématite. La mine ferrue est mélangée intimement d'une gangue siliceuse;

2° Un *minerai* carbonaté dit *noir*, décomposé et transformé en fer oxydé rouge très peu hydraté, à poussière rouge et surface noirâtre, formant quelques amas;

3° Un mélange de minerai ferru et de quartz qui n'est autre que du minerai où la gangue habituelle quartzeuse devient abondante

et rend le minerai inexploitable; ce mélange pauvre est assez commun au toit du gîte et dans les régions inférieures où le pendage approche de la verticale;

4° Un mélange assez rare de minerai noir, quartz et fer carbonaté décomposé pauvre;

5° Un minerai mélangé de gangue schisteuse;

6° Un mélange de minerai carbonaté blond, non décomposé, parsemé de pyrites et grains de quartz qu'on n'exploite pas, etc.

Les mineurs réduisent ces variétés à trois types : les *mines fortes ou fermes*, c'est-à-dire les hématites ; les *mines douces ou noires*, c'est-à-dire les fers spathiques plus ou moins décomposés, et les anis ou *mines pauvres*.

Mais les mines fermes elles-mêmes comprennent des laouzudes (hématites noires schisteuses), des luzentiés (fers micacés), des mines brûlées (hématites cellulaires). Les mines douces, d'où tout l'acide carbonique a disparu, sont poreuses, non cristallines, formées de fer oxydé à poussière rouge, très estimées et assez riches en manganèse.

En profondeur et conformément à une remarque générale pour ce genre de gîtes, les minerais semblent passer à du fer carbonaté, dont les hématites ne seraient qu'une décomposition superficielle.

Pour M. Mussy, il y a eu, dans la formation du gîte, trois périodes : 1° cassures résultant du plissement des couches, avec formation de salbandes terreuses et polissage des parois en contact, et production de vides lenticulaires ; 2° remplissage des crevasses, avec action de substitution progressivement étendue par porosité aux parois encaissantes, par du fer carbonaté blond ; 3° décomposition en hématite des portions supérieures du gîte par les eaux et les agents atmosphériques, production de grottes au mur, etc.

M. Mussy a calculé que les exploitations anciennes, commencées depuis un siècle, avaient dû enlever 4 700 000 tonnes de minerai, et qu'il restait en réserve (en 1868) à peu près 400 000 tonnes.

La production de minerais de fer de l'Ariège a été, en 1890, de 11 228 tonnes; la production de fonte, de 13 698 tonnes; celle de fer, de 8 969 tonnes; celle d'acier, de 2 887.

Bibliographie

1823. DE CHARPENTIER. — Constit. géognost. des Pyrénées. p. 350.
1828. MARROT. — Description de Rancié. (*Ann. d. M.*, 1828. t. IV. p. 301.)
1833. DUFRÉNOY. — (*B. S. G.*. t. II, p. 73; *Ann. sc. nat.*, 1833, t. XXX, p. 59; *Ann. d. M.*, 1843, t. V, p. 307.)
1834. DUROCHER. — (*Ann. d. M.*, t. V. p. 307.)
1844. — (— t. VI. p. 15.)
1866. Bar. DE DIETRICH. — Gites de minerai des Pyrénées.
1861. COTTA. p. 434.
* 1866. MUSSY. — Ressources minérales du canton de Vicdessos et mine de Rancié. (*Ann. d. M.*, 6e, t. IX. p. 269.)
* 1870. MUSSY. — Ressources minérales de l'Ariège. (*Ann. d. M.*, 6e série, t. XVII. p. 237.)
* 1872. FUCHS. — Mémoire sur les gites métal. des districts de Batères et de Prades dans le Canigou.
1884. BRAGONNIER. — Mémoire sur les couches de minerais de fer de l'arrondissement de Prades (Pyrénées-Orientales) (Canigou), autographié.
1881. V. GRODDECK, p. 355.
1884. CARCANAGUES. — Teneur en fer et manganèse des minerais du Rancié. (*Ann. d. M.*, 1884, 8e. t. V. p. 115.)

GISEMENTS DE FER DES PROVINCES DE MURCIE ET D'ALMÉRIA (ESPAGNE)

(*Hématite filonienne en veines dans les schistes, en amas dans les calcaires : avec fer spathique, accessoire à la surface, dominant en profondeur.*)

La côte Est d'Espagne présente, dans les provinces de Murcie et d'Almeria, du cap Palas au cap de Gate, un certain nombre de gisements de fer qui ont été étudiés, en 1873, par M. Aguillon, et qu'on peut rapprocher de ceux des Pyrénées.

Ces gisements se rapportent à plusieurs groupes, qui sont du Nord au Sud :

1° Morato, Monte-Cuco et le versant Sud de la sierra de Frente; 2° chaînon de Porazuelos et sierra de Lomo de Bas; 3° sierra de Cocon (près d'Aguilas); 4° sierra de Medio (à l'Ouest de la précédente); 5° sierra Almagrera (las Herrerias); 6° sierra de Bedar; 7° Carbonara, la Ferreria et la Fraternidad.

Au Nord de cette région, se trouve d'ailleurs l'important district de Carthagène où l'on exploite à la fois le fer, le plomb, le zinc, etc., et que nous nous réservons de décrire à propos du plomb.

Les terrains de cette région, généralement très disloqués, comprennent du silurien étudié par de Verneuil et, d'après Bottella, du permien.

Les caractères généraux de ces gîtes sont les suivants :

Géologie des gisements. — On peut distinguer les gisements dans les schistes et ceux dans les calcaires.

Ceux dans les schistes, moins productifs, sont moins connus. Cependant on peut affirmer, malgré certaines apparences d'interstratification, qu'ils sont filoniens : 1° par la nature et le mode d'altération des roches encaissantes au contact ; 2° par la pénétration, dans ces roches, de veines ou veinules de minerai parfaitement nettes ; 3° par l'existence, en quelques points, de vrais filons, en général assez minces et peu continus, coupant nettement la stratification (Isabel). Ces filons se présentent par lentilles distinctes, d'une faible épaisseur en général (1^{m},50 ; exceptionnellement 4 mètres à San-Francisco ; plus de 6 mètres à Bolivia où le minerai est en contact avec du calcaire) ; en profondeur également, les veines se croisent. A España (Lomo occidental), il y a eu serrement complet à 35 mètres.

Tous les gîtes explorés ont été signalés à la surface par du minerai. Nulle part, on n'a trouvé de fer au-dessous des calcaires intacts. On peut même dire que la minéralisation de l'affleurement a un rapport avec l'importance du gîte, surtout lorsque celui-ci est intercalé entre des schistes consistants. Au contact du calcaire, il peut se présenter des épanouissements qui ont fait croire parfois que le fer était subordonné au calcaire. Les gîtes semblent présenter certaines directions principales voisines de N-100°-E. A Parazuelos, le fer est, dans le calcaire, en amas qui rappellent ceux des Pyrénées-Orientales : caractères qu'on retrouve dans le groupe de Carbonara du district de Garrucha.

M. de Bottella suppose que ces gisements de fer doivent se charger de plomb en profondeur, en se fondant sur ce que les filons de plomb de la région donnent aux affleurements des carbo-

nates ferrugineux. Mais ces carbonates sont très différents des gisements de fer. Au contraire, il semble, en général, que les mines douces de la surface se changent vite en fer spathique, minerais excellents sans doute, mais à trop faible teneur pour être exploitables en ce pays.

Au point de vue des minerais, les gisements en schistes fournissent un fer hydraté à cassure terreuse, tendre, de couleur rouge brun : minerai siliceux sans soufre ni phosphore, tenant, dans les belles qualités, 53 p. 100 de fer, dont 2 à 5 p. 100 de manganèse. On y trouve aussi des minerais schisteux se débitant en plaques plus ou moins minces à 45 ou 50 p. 100 de fer.

Puis on a tous les passages de plus en plus terreux et pauvres jusqu'aux carcasses schisteuses qui forment les salbandes.

Dans quelques mines, on trouve des minerais spéciaux ; ainsi, à la mine Perdiz, sur le sommet du Lomo, un minerai massif, à faible tendance schisteuse, géodique ou caverneux, brun noir, avec les géodes entourées d'une auréole manganésifère lui donnant l'aspect d'un œil de perdrix (d'où le nom de la mine).

Dans les calcaires, on a des *mines douces;* fers hydratés en roches, tendres, noirs, excessivement manganésifères, tenant 55 à 56 p. 100 de fer et 5 à 10 p. 100 de manganèse.

Passons à la description de quelques-uns de ces gisements :

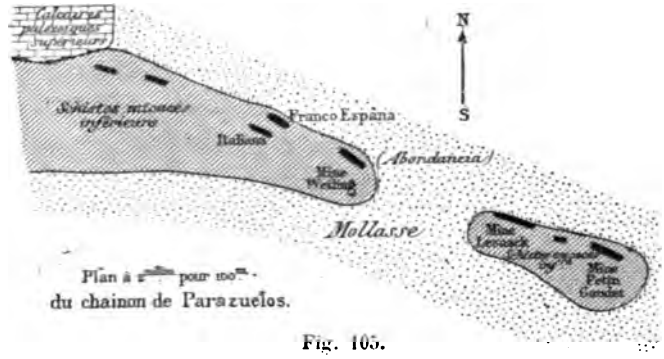


Fig. 105.

Le *chaînon de Parazuelos* (fig. 105 et 106) est constitué par des calcaires avec schistes argileux micacés. Cet étage forme un V au milieu de terrains plus anciens. Des couches miocènes recouvrent, en partie, l'ensemble.

Au milieu des calcaires, se trouvent quelques gîtes d'une certaine importance : Franco España qui, en 1873, avait produit 30 000 tonnes, amas de 8 à 10 mètres de large au milieu du

Fig. 106. — Coupe N.N.E.-S.S.O. du chaînon Parazuelos à la hauteur des gîtes Franco-España et Italiana (d'après M. Aguillon).

calcaire ; la mine Petin-Gaudet, formée de mine douce et de calcaire manganésé à 20 ou 30 p. 100 de fer, etc...

2° Dans la province d'Almeria se trouvent les mines de la *Ferreria et de la Fraternidad,* qui ont établi autrefois, en France, la réputation des mines douces de cette région.

On y a exploité de grands amas d'hématite qui, en profondeur, ont passé au fer spathique.

GITE D'ALLEVARD[1]

(*Filons de sidérose recoupant le trias.*)

La sidérose, qui est très fréquemment une gangue de filon, forme à elle seule, en certains points, des filons de minerai de fer exploitables[2].

Il existe à Allevard et à Vizille, dans le département de l'Isère, un district minier important, ayant produit, en 1890, 46 000 tonnes de fer spathique[3], où des filons de carbonate de fer extrêmement nets, avec gangue de quartz et, en quelques points, de dolomie ferrugineuse, traversent les schistes cristallins (micaschistes et

[1] 1880-81. — H. Küss. Note sur les filons de fer spathique du canton d'*Allevard*. (*B. S. G.*, 3e série, t. IX, p. 699. Paris, 1880-81.) — V. coll. *Ecole des Mines*, 1914.

[2] Nous venons d'étudier, au Canigou et en Espagne, des gisements filoniens qui semblent également formés de carbonate de fer en profondeur.

[3] En 1888, 10 000 tonnes de fer spathique cru et 27 000 de fer spathique grillé.

talcshistes). Ces filons pénètrent localement dans le terrain houiller et dans les grès triasiques. Leur puissance atteint parfois jusqu'à 10 mètres. Leur allure générale est très régulière bien qu'ils soient coupés par des failles nombreuses.

La sidérose y est tantôt largement cristallisée, tantôt seulement cristalline. Elle est accompagnée d'un peu de pyrite de cuivre et de blende qui, d'après M. Küss, semblerait avoir été amenée par des failles ; aux affleurements, elle est souvent transformée en hématite, parfois en fer oligiste.

On a exploité de même, en Savoie, à *Saint-Georges-d'Hurtières*, des filons analogues.

La production de Saint-Georges, en 1888, n'a été que de 650 tonnes ; en 1890, de 465.

Comme types de filons de sidérose dans des terrains stratifiés, nous citerons encore, d'après V. Groddeck, *Stalhlberg* près Musen, et *Horhausen* près Coblentz.

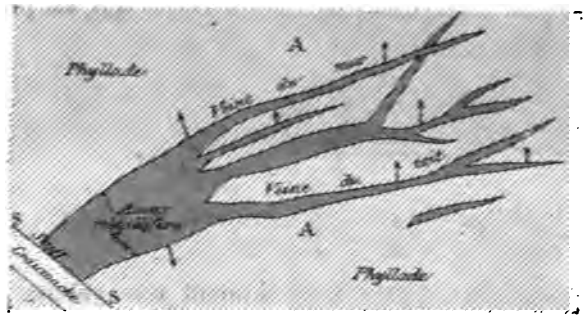


Fig. 107. — Plan du gîte de Stahlberg près de Musen, d'après Ad. Noggerath.

A *Stahlberg* (fig. 107), un amas, prolongé par des veines nombreuses, traverse les phyllades du dévonien inférieur. L'amas, limité d'un côté par des failles argileuses dites stuff, a 30 mètres de large sur 60 mètres de long. Les trois veines principales ont de 2 à 6 mètres de puissance et sont exploitables sur 120 mètres. Au delà, elles se perdent sous forme de veines quartzeuses ou d'enduits stériles.

Le remplissage consiste en sidérose blonde manganésifère contenant des nids de pyrite, de chalcopyrite, de cuivre gris ou de galène qui établissent une transition avec des filons de cuivre gris.

ɔnde etc... où la sidérose n'est plus qu'une gangue accessoire. A *Horhausen*, près Coblentz, un filon de fracture bien net entre grauwacke et le phyllade, de 4 à 6 mètres, rarement 10 mètres puissance, est exploitable sur 400 mètres de long. Il contient ı mélange massif de sidérose et de quartz avec veinules de pyrite fer, de chalcopyrite, de bournonite, de cuivre gris, de blende, stibine, de smaltine et de chloantite. Au contact d'un filon de salte qui suit le filon de minerai et le traverse plusieurs fois, la lérose s'est transformée en magnétite sur quelques centimètres ɛpaisseur [1].

E. — GISEMENTS DE FER STRATIFORMES SÉDIMENTAIRES ET D'ÉPANCHEMENT

A côté des véritables gîtes sédimentaires déposés dans un bassin custre ou marin par une précipitation ou par une lévigation écanique, nous classerons, dans ce groupe, des couches de minerais de fer qui peuvent résulter, soit de l'action d'eaux acides sur s strates calcaires déjà formées (Erzberg styrien, Cumberɑd, etc.), soit d'un épanchement de ces eaux à la surface (île Elbe, la Tafna, Tabarka). La logique pure aurait peut-être voulu ıe nous fissions de ces gîtes un groupe spécial, intermédiaire ıtre les filons et les sédiments proprement dits ; nous avons aint, en établissant cette division, d'attribuer une importance ɔp grande à des vues théoriques qui attendent encore une conmation bien nette. Il n'est, de même, pas impossible, comme us le dirons, que, pour les gîtes des terrains anciens métamorıiques, il y ait parfois, au lieu d'une interstratification propreent dite, une infiltration contemporaine du métamorphisme ; là core nous n'avons pas cru devoir établir de distinction trop enturée.

Les gîtes de fer réellement sédimentaires, qui se produisent

1863. Nöggerath. — Z. f. d. B. H. u. S. im. preus. St., 1863, t. XI, p. 63.
1881. Groddeck, p. 158.

encore aujourd'hui à l'état de grains d'hématite brune dans les marais de Suède et de Norvège [1], se retrouvent, comme on pouvait le prévoir, dans la presque totalité des étages géologiques, depuis le terrain dit primitif, où ils sont parfois abondants. Leur formation peut être expliquée, en général, par le passage à l'état de sels de peroxyde de dissolutions ferrugineuses ayant emprunté leur fer, soit aux roches cristallines du rivage qui le contenaient en silicates, soit à des sources également voisines de la côte ; ils affectent donc, en principe, l'allure de *dépôts littoraux* à coupe lenticulaire plus ou moins allongée. Cette précipitation du fer (et nous pensons surtout ici aux dépôts oolithiques), s'étant produite le plus souvent dans des eaux calmes voisines de la côte et assez peu profondes pour être imprégnées par l'oxygène de l'air, le minerai de fer, toujours peroxydé, est généralement associé à des argiles, beaucoup plus qu'à des grès ou à des calcaires, et, lorsqu'on le trouve au milieu de calcaires (comme cela arrive surtout dans le terrain primitif et dans le carbonifère), une analyse minutieuse laisse souvent supposer qu'il leur est postérieur et que des actions de substitution sont intervenues ; pour la même raison, les fossiles y sont souvent abondants comme dans bien des formations littorales.

Nous ne reviendrons pas sur la loi générale que nous avons indiquée plus haut relativement à la nature minéralogique des minerais de fer dans des terrains d'âge divers. Les terrains anciens, en raison de leur métamorphisme, renferment surtout le fer en oligiste et magnétite. Cependant il peut arriver que le fer s'y trouve également à l'état d'hématite rouge oolithique. L'hématite brune qu'on y rencontre par accident n'est généralement qu'une altération superficielle, soit de la sidérose, soit de la pyrite [2]. Quant au carbonate, il donne lieu à quelques observations, et nous résumerons à cette occasion ce qu'on peut dire des gîtes de fer attribués à des phénomènes de *substitution*.

Il est à peu près certain que du fer, en dissolution dans des eaux contenant des végétaux en décomposition, s'est parfois directement précipité à l'état de carbonate, et que c'est là l'origine des couches de sphérosidérite du terrain houiller de la Ruhr, de la Silésie,

[1] Voir plus loin, p. 821.

[2] V. Groddeck, p. 173.

'Angleterre, du Gard, etc., couches que l'on rencontre également plusieurs autres niveaux (keuper et jurassique de haute Silé-e, etc...).

Il est, d'autre part, très admissible, d'après l'étude des gîtes à ıractère filonien comme ceux de la côte Est de l'Espagne, comme ɔux du Canigou, que des eaux chargées de sel de fer et précipi-ɹt ce fer à l'état d'hématite dans des schistes, ont pu, lorsqu'elles ıt rencontré des calcaires, attaquer ces calcaires et produire im-édiatement par substitution chimique, des amas de carbonate[1]. ais à côté de ces types relativement nets, il en est toute une caté-ɔrie d'intermédiaires où l'on peut hésiter entre la formation sédi-entaire et celle par substitution. Nous citerons, par exemple : ıtre le dévonien et le permien, ceux de l'Erzberg styrien; dans le ırbonifère, ceux du Cumberland anglais, ceux de Wajda-Hunyad, c... dont on trouvera les descriptions plus loin au paragraphe ɔrrespondant pour chacun à l'âge du terrain encaissant.

Les caractères de ces gîtes sont toujours les mêmes. La sidé-se ne s'y présente jamais en couche stratifiée régulière entre ux couches de schistes ou de grès comme le font les fers oligistes, ɜ minerais oolitiques, etc.; elle n'y forme pas non plus de véri-bles filons comme à Allevard : elle existe à l'état d'amas lenti-laires au milieu de calcaires anciens, compris eux-mêmes entre s schistes.

Ces amas, extrêmement irréguliers et déchiquetés, sont généra-ɱent à peu près concordants avec la stratification, et allongés ivant la direction. Présentant des renflements et des serrées ccessives, ils se terminent en direction par un amincissement ogressif et sont entourés d'une auréole, d'abord de calcaire fer-gineux ou rohwand, puis de calcaire cristallin et saccharoïde mme celui qui a été soumis à des actions chimiques. L'inters-ıtification n'est, en général, que très approximative, comparable r exemple à celle que nous retrouverons pour les gîtes calami-ıires, et l'on voit parfois, sur une certaine étendue, l'obliquité du te par rapport aux couches se dessiner nettement. En outre, existe, surtout au mur, de très nombreuses ramifications. Miné-

[1] Nous laissons de côté le cas de la sidérose filonienne comme celle d'Allevard.

ralogiquement, les minerais sont formés : en profondeur, de sidérose, forme originelle du dépôt; aux affleurements, d'hématite, produit de la décompostiion de la sidérose.

Si l'on cherche à se rendre compte du mode de formation de ces gîtes, on se trouve en présence de deux théories :

1° On peut admettre, avec V. Groddeck, qu'on a affaire à une simple couche sédimentaire contemporaine du calcaire encaissant et dont les irrégularités résultent, comme celles du calcaire même, de mouvements postérieurs. Cette explication présente quelque vraisemblance dans certains cas fort rares. Supposons, en effet, que la précipitation du fer contenu dans les eaux de la mer se soit produite, non pas pendant un dépôt argileux, mais pendant un dépôt calcaire, elle a pu s'effectuer immédiatement à l'état de carbonate de fer, plus ou moins mélangé de carbonate de chaux et passant progressivement à celui-ci [1]. Des mouvements postérieurs seraient alors la cause de la production des salbandes constatées parfois et de l'introduction d'eaux superficielles [2] qui ont pu dissoudre une partie du fer du gisement et l'amener dans des crevasses ou fissures ramifiées à son mur. L'existence de véritables couches de sphérosidérite sédimentaires dans un grand nombre de terrains, et, en particulier, dans le houiller, doit être considérée comme un argument en faveur de cette hypothèse. En outre, on ne s'expliquerait pas bien à priori pourquoi il n'y aurait aucun gisement de fer sédimentaire encaissé dans des calcaires, alors qu'il en existe de si nombreux dans les schistes. Le caractère très probablement littoral [3] des dépôts de fer, semble, il est vrai, incompatible avec l'existence de sédiments d'eau profonde comme la craie (boue à globigérines), la boue à radiolaires, la boue à diatomées; mais il ne l'est nullement avec la présence d'une vase corallienne [4].

2° Toutes les fois qu'il y a relation avec un système filonien,

[1] Il existe des couches d'hématite brune (et non pas de carbonate) au milieu de calcaires. (V. Type Hüggel de Groddeck, p. 345.) Là on ne peut plus guère invoquer une substitution.

[2] Cf. Rancié, p. 688.

[3] Nous entendons par là non pas la première zone, très étroite de graviers et galets, mais la seconde, celle des vases bleues et vertes de l'expédition du Challenger.

[4] Les fossiles sont fréquents dans les couches de carbonate (Groddeck, p. 113).

comme nous l'avons vu pour la région des Pyrénées-Orientales et de l'Ariège, une autre explication est nécessaire ; elle l'est également, à notre avis, dans la plupart des cas, par la relation qui existe entre le développement du fer et la présence de fractures ou crevasses ; par les caractères des calcaires encaissants qui paraissent modifiés après coup, chargés de fer ou tout au moins altérés par des actions chimiques ; par l'irrégularité, l'obliquité fréquente des gîtes ; par la prédominance générale[1] des ramifications divergentes au mur autant qu'au toit (ce qui prouve tout au moins[2] qu'au moment de la venue ferrugineuse, le calcaire du mur avait déjà subi un crevassement important), etc... Tous ces phénomènes nous paraissent mieux expliqués par l'introduction après coup, — et suivant un système de fissures, dans lequel les interstratifications jouaient un grand rôle, — d'eaux chargées de sels de fer ayant pénétré par porosité dans le calcaire, l'ayant dissous inégalement suivant son inégale résistance et l'ayant progressivement fait passer par substitution, de l'état de carbonate de chaux à celui de carbonate de fer[3]. L'existence de ces gîtes de substitution[4] est d'ailleurs admise dans certains cas par tout le monde, et nous en citerons, d'après von Groddeck lui-même, dans le Thüringerwald, au Hüggel, etc.

Nous étudierons les types suivants de gîtes de fer stratiformes :

Laurentien. — États-Unis. — Jerngneiss (gneiss à magnétite) de Norvège.

Huronien. — Lentilles de magnétite et oligiste dans les leptynites et les calcaires cristallins : — Suède et Norvège (Norberg, Persberg, Dannemora, côte d'Arendal). — Lac Supérieur. — Mokta-el-Hadid (Algérie). — San-Thiago (Portugal).

Cumbrien. — Itacolumites du Brésil.

Silurien. — Segré (Maine-et-Loire). — Diélette (Manche). — Villa Cañas (Andalousie). — Krivoïrog (Russie). — Saint-Léon (Sardaigne). — Nucic (Bohême). — Grande Vallée des Alleghany (Amérique), etc.

Dévonien. — Eisenerz — Harz.

Carbonifère. — Cumberland — Bassin de la Ruhr-Silésie, etc.

Permien. — Carthagène.

Trias. — Ardèche — Silésie.

[1] Voir Rancié ; cf. V. Groddeck, p. 171.

[2] Sauf le cas, prévu plus haut, de remises en mouvement.

[3] V. Groddeck, p. 118, admet, dans certains cas, la substitution.

[4] Pour les raisons indiquées plus haut, nous les confondons, dans la description, avec les gîtes sédimentaires sous le nom de gîtes stratiformes.

Hettangien. — Thostes et Beauregard (Côte-d'Or). — Mazenay et Change (Saône-et-Loire).
Toarcien. — Meurthe-et-Moselle — Cleveland — Ardennes — Harzbourg.
Bajocien. — Izenay (Nièvre). — Mondalazac (Aveyron). — Privas (Gard).
Callovien. — La Voulte (Ardèche). — Neuvisy (Côte-d'Or). — Normandie — Franche-Comté.
Crétacé. — Haute-Marne.
Tertiaire. — Bilbao (Espagne). — Le Berry — la Tafna — Tabarka.

AMAS DE FER LAURENTIENS

DES ÉTATS DE NEW-YORK, NEW-JERSEY ET PENSYLVANIE

(Amas stratifiés de magnétite et d'oligiste.)

Les meilleurs types de minerais de fer laurentiens se trouvent aux États-Unis. Ils forment, dans les Etats de New-York, de New-Jersey et de Pensylvanie, trois districts principaux : 1° district du lac Champlain ; 2° district du haut plateau de New-York et New-Jersey ; 3° district de Cornwall, dans le comté de Lebanon (Pensylvanie). On a vu, plus haut [1], la production de ces districts.

1° District du lac Champlain. — Entre le lac Champlain et le lac Ontario [2], dans les gneiss laurentiens des monts Adirondack, on trouve des amas de magnétite mélangés d'apatite. Ces amas, d'une puissance variable entre 0m,75 et 14 mètres, renferment souvent des lits, en stratification concordante, de roches feldspathiques.

Au Nord, la formation se prolonge vers le Canada et la puissance des amas y augmente notablement ; elle atteint 30 mètres à Marmora et 60 à Newborough.

2° District du haut plateau de New-York et New-Jersey. — On trouve, dans ce district, soit des zones chargées de magnétite au milieu des gneiss syénitiques, épousant, sur plusieurs myriamètres de long, les inflexions et les plissements des couches encaissantes, soit des amas de magnétite pure, comme à King-Mine (New-Jersey), à Peekshill, etc...

[1] Page 640.
[2] Voir la carte des Etats-Unis, pl. I, p. 73.

L'amas stratifié de *Peekshill*, à 70 kilomètres au Nord de New-York, atteint une puissance de 25 mètres et se détache nettement de la roche encaissante. Il est formé de magnétite à grain fin avec hornblende et pyrite magnétique; en profondeur, cette dernière augmente, et l'on voit apparaître, en outre, de la pyrite de fer et de la chalcopyrite.

Le gîte de la *forêt de Dean*, sur la rive droite de la rivière Hudson, est un amas de 20 mètres de puissance, au contact duquel la syénite se modifie, est composée principalement de feldspath pur avec pistazite et veinules de magnétite.

A Franklin et à Sterling (New-Jersey), on trouve de même, dans le gneiss syénitique, et en relation avec des amas calcaires, des amas de magnétite, de franklinite [1] et de zincite. La franklinite presque pure forme des amas stratifiés dont la puissance atteint 3 mètres. Elle est souvent empâtée dans une gangue calcaire avec zincite, willémite, troostite, rhodonite, hornblende, grenat, etc.

3° District de Cornwall, dans le comté de Lebanon (Pensylvanie). — Le laurentien minéralisé est exploité près de Cornwall. Il contient des couches de magnétite accompagnée de chalcopyrite, de pyrite de fer et de minerais de cobalt.

Bibliographie.

1869. Credner. — (*Zeitsch. d. d. geol. gesel.*, t. XXI, p. 516, et *B. u. H. Z.*, 1871, p. 369.)

1873. Lesley. — The iron ores of the South mountain in Pensylvania. (*Amer. journ*, t. XIII, p. 3.)

1873. — The Staley's creek and Nick's creek Iron ore region. (*Trans. of the Phil. Ac. of nat. sc.*, 2e, t. XV, p. 33.)

1876. Wedding. — (*Zeitschr. f. d. B. H. u. s. W. im Pr. St.*, t. XXIV, p. 333.)

1880. Ch.-E. Hall. — Magnetic iron ores of the Laurentian system in *Northern New-York*. (In-8°, 10 p. Albany, 1880.)

1880-82. Wadsworth. — A microscopic study of the Cumberland Iron ore from *Rhode Island*. (*Proceed. A. A. Boston*, t. XXI, p. 194. Boston.)

1881 V. Groddeck, p. 183.

[1] Spinelle de fer, zinc et manganèse : (Fe, Zn, Mn), (Fe, Mn) $^2O^4$.

1881. Edwin GILPING. — The limonite and limestones of *Picton County*. (*Proceeding and transactions of the nova Scotian intitute of natural Science*, t. V, part. 1-3, p. 31. Halifax, 1878-1881.)

1881. HUNT. — Coal and Iron... (*Le charbon et le fer dans l'Ohio méridional*. Boston, in-8° de 152 pages.)

1885. CHAPMANN. — On some iron ores of *Central Ontario*. (*Proceedings and transactions of the royal Society of Montreal*, t. III, p. 9. Montreal, 1885.)

FER DE SUÈDE ET DE NORVÈGE[1]

(LAURENTIEN ET HURONIEN)

La Suède est un des pays les plus richement dotés en minerai de fer, et le manque de combustible ou de communications empêche seul sa production de dépasser un chiffre relativement restreint (7 à 800 000 tonnes de minerai ; 350 000 tonnes de fonte par an).

Ces gisements, situés soit dans le laurentien, soit dans le huronien, mais que nous ne séparerons pas dans la description, se trouvent, pour la plupart, dans une zone allant du N.-E. au S.-O., le « Järnbäraland », ou le pays du fer, comprenant la partie S.-O. du gouvernement de Gefle, la partie S.-E. de celui de Kopparberg, la région septentrionale du Vestmanland, la majeure partie du gouvernement d'Örebro et le Vermland oriental. En dehors de cette zone, on doit encore citer, au Nord de la province de Norrbothnie, les célèbres gisements de Gellivara, Luosavara, Svappavara et Kurunavara que leur position septentrionale a presque complètement empêché d'exploiter jusqu'ici.

Les *minerais de Suède* se composent principalement de magnétite (*svartmalm*, minerai noir) et d'oligiste (*jernglanz* ou *blodstenmalm*, pierre de sang). On peut les ramener, d'après une classification donnée autrefois par Durocher, reprise dernièrement par M. Akerman, à trois types essentiels, tant au point de vue minéralogique qu'au point de vue métallurgique :

1° Minerais formés surtout d'oligiste avec assez peu de magnétite en gîtes très nettement stratifiés, encaissés dans le gneiss plus ou moins feldspathique ou quartzeux, la leptynite et le mica-

[1] Notes de voyage de l'auteur en 1890.

iiste ; le calcaire, ainsi que les roches amphiboliques, faisant ɜfaut. Ce minerai, toujours mal séparé de la roche encaissante, une gangue principalement quartzeuse, parfois alumineuse (à ıuse du feldspath) et est désigné sous le nom de minerai sec *orrsten malm*). On le rencontre : dans le laurentien à Gellivara ; ans le huronien à Norberg, Striberg, Grangesberg, etc.

2° Minerais principalement composés de magnétite très pure vec gangue de skarn ou arendalite (malacolite, hornblende, miante, talc, chlorite, serpentine, grenat, épidote, etc...). Ces ıinerais, bien séparés de la roche encaissante, et disposés en ɪntilles, peuvent être, presque toujours, traités au haut fourneau ıns addition de calcaire. Parfois cependant il faut ajouter du cal- ıire et du quartz quand les gangues se composent principalement e silicates riches en talc.

Ces minerais s'exploitent à Persberg et Nordmark (Vermland), Norberg (Vestmanland), Dalkarsberg, Kallmora, Rällingsberg, tenring, Nyäng, etc.

3° Minerais de magnétite très manganésifère, à gangue calcaire, ɔuvent imprégnés de pyrite. La teneur en manganèse, qui paraît rovenir de minéraux intercalés, tels que la knebelite, l'hausman- ite, le carbonate de manganèse, etc., augmente souvent avec la uantité de fer. Quelques-uns de ces minerais, comme ceux de Jackberg, de Norberg, de Langvik et de Skinnarang, sont très ıches en calcaire, ce qui nécessite leur mélange avec des mine- ais quartzeux. D'autres, comme ceux de Dannemora, sont fusibles ar eux-mêmes. D'autres enfin, comme ceux de Svartberg et de lilläng, exigent une faible quantité de calcaire. Ces minerais cal- aires, pour fournir un laitier bisilicaté, doivent être, en général, mployés en mélange avec d'autres minerais ; aussi leur donne- -on souvent le nom de pierres de mélange (*blandstenmalm*).

La *teneur en fer* des minerais de Suède est, en moyenne, de 40 à ɜ0 p. 100. Certains minerais calcaires sont utilisés avec une teneur le 20 p. 100, mais seulement pour remplacer la castine. Par ɔontre, d'autres (par exemple à Bisberg) ont atteint 68 à 70 p. 100.

En général, les minerais suédois tiennent très peu de phosphore 0,002 à 0,003 p. 100 à Dannemora; en moyenne de 0,005 à),05 p. 100; exceptionnellement plus de 1 p. 100 à Kurunavara et

Gellivara). Le phosphore, qui se rencontre là, paraît dû, dans la plupart des cas, à un mélange d'apatite.

Les minerais les plus dépourvus de phosphore sont utilisés, en

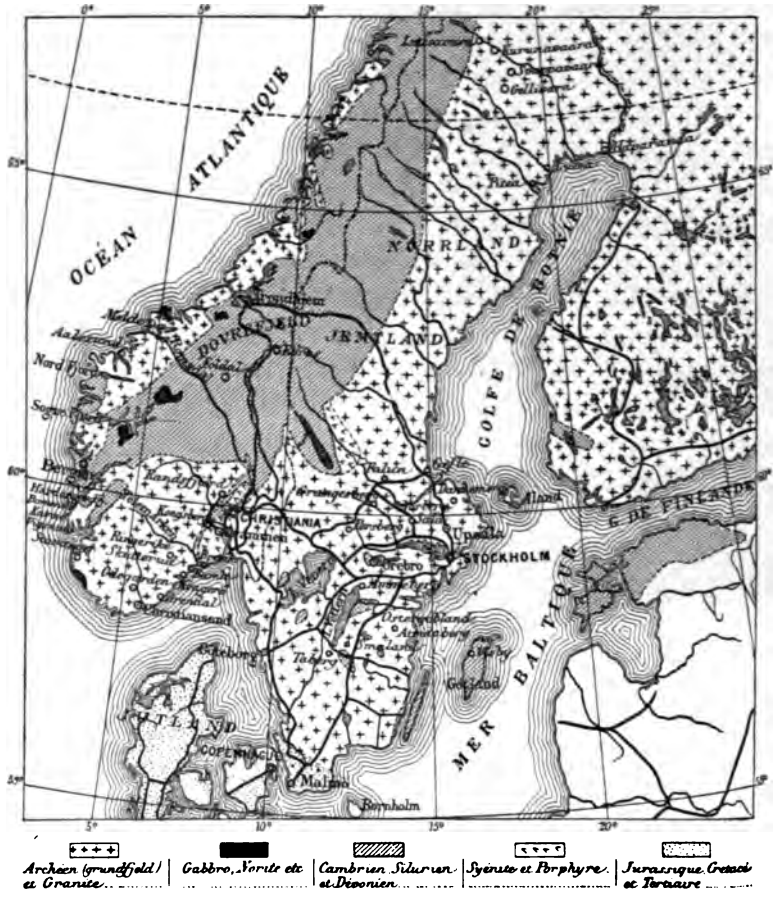


Fig. 108. — Carte géologique et minière de Scandinavie.
Echelle au $\frac{1}{14\,000\,000}$.

général, à la production de barres plates pour acier cémenté et fondu. On en fait également des fers marchands ; mais là la teneur en phosphore a beaucoup moins d'influence sur la valeur du produit. Pourvu que cette teneur ne dépasse pas 0,1 p. 100, la densité et l'homogénéité du métal sont les éléments prépondérants dans son appréciation. Aussi emploie-t-on de préférence, pour le fer, les minerais tenant quelques dix millièmes de phosphore.

Les minerais manganésés sont recherchés pour la fabrication
: l'acier.

Le soufre ne se présente pas dans la majorité des fers oligistes
ıartzeux ; mais il est assez abondant dans les minerais de la troi-
ème catégorie. Aussi, les minerais suédois sont-ils généralement
ıumis à un grillage préalable.

Quelques minerais sont très riches en titane, en particulier
ılui de Taberg [1] qui contient 6 p. 100 d'acide titanique. Ce titane
pour effet de rendre la réduction plus difficile et d'augmenter
. température de fusion ; par suite, la consommation de charbon.

Avant de passer à l'étude de ces divers gîtes, rappelons, en
uelques mots, la *constitution géologique de la Scandinavie* [2].

La Scandinavie (fig. 108, p. 704) est formée, dans son ensemble,
'une longue bande NE-SO de terrains anciens, cambriens, silu-
iens, et peut-être dévoniens, allant, à la frontière de la Norvège
t de la Suède, du cap Nord à Christiania, et comprise entre deux
andes parallèles de terrains primitifs avec granite.

Toute la région porte l'empreinte très nette d'un grand plisse-
ıent post-silurien qui a affecté également l'Écosse et le pays de
alles, et que M. Suess a appelé la chaîne calédonienne.

Le cambrien se présente, au Sud-Est des terrains anciens, au
lord de Christiania. Plus à l'Ouest et au Nord, on a le silurien
Röros, Foldal, Bömmelö, etc. Enfin, à l'Ouest, du côté du cap
lord et auprès du Nordfjord ; à l'Est, entre Christiania et
'rondhjem, on rencontre des terrains supérieurs au silurien, peut-
tre dévoniens. Une série de massifs de gabbro, norite et diorite se
rouvent principalement dans la zone silurienne. Trois massifs de
ıorphyre et de syénite apparaissent, l'un dans le Dalarna, les deux
.utres au Nord de Christiania et entre Drammen et Brevik [3].

Le terrain primitif, ou *grundfjeld*, est la partie de cette coupe
ui nous intéresse spécialement en ce moment.

La coupe de ce terrain comprend de bas en haut, d'après Kjérulf [4]

[1] Décrit plus haut, page 656.

[2] KJÉRULF. — Géologie det mittleren und südlichen Norvegens, p. 118.

[3] C'est dans la syénite éléolithique constituant ce dernier que se trouvent, avec le zircon, tous les minéraux rares, gadolinite, cérite, minerais d'yttrium, de thorium, etc.

[4] Voir plus haut, page 328, le paragraphe relatif aux apatites d'Oddegarden.

et Hummel[1], tant en Suède qu'en Norvège, les niveaux suivants

A. *En Suède*, où les couches semblent déjà assez élevées dans la série primitive, on a :

1° A la base, un *gneiss rouge* avec minerai de fer magnétique ou *jerngneiss* (gneiss ferrifère), caractérisé par ce fait qu'on n'y trouve jamais de lentille calcaire ;

2° Un *gneiss gris* à grenat renfermant des amphibolites avec de petits amas et veinules de calcaire et de fer ;

3° Un *gneiss rougeâtre à oligoclase* contenant les premières lentilles calcaires avec minerai associé. Ces trois termes pourraient correspondre au Laurentien ;

4° Au-dessus commence la *zone des hälleflinta* formée de roches euritiques ou pétrosiliceuses dites leptites et de quartzites, zone qui nous semble très analogue avec la région de leptynites étudiée par nous aux environs de Brive et Tulle dans notre plateau central[2]. On trouve, dans cette zone, de grandes lentilles de calcaire avec minerai de la troisième catégorie et souvent des diorites, gabbros, etc., qu'on peut rapprocher, jusqu'à un certain point, des amphibolites et serpentines de la même zone en France.

A la partie supérieure de cet étage, on a décrit certaines roches à teintes inégales comme d'anciens conglomérats.

5° Au-dessus, viennent des *schistes micacés* et *amphiboliques* passant aux phyllades.

B. *En Norvège*, les terrains inférieurs, beaucoup mieux représentés, constituent le *Grundgebirge*, dont on peut voir la coupe, sur plus de 1000 mètres de haut, au Romsdal et au Geirangerfjord. C'est un gneiss gris franc, analogue à celui que nous désignons en France par ζ^1, comprenant des bancs glanduleux qu'on a considérés comme formant sa base. Au-dessus, les amphibolites et les micaschistes ont, au contraire, moins d'importance qu'en Suède.

Dans l'un et l'autre pays, les actions métamorphiques nous paraissent d'ailleurs avoir joué un rôle prépondérant, nécessairement variable suivant les points, dans la formation de ces roches : en sorte qu'il ne faut peut-être pas attribuer à cette coupe qui

[1] Hummel. — Sveriges geol. undersökning. Stockholm, 1873.

[2] *Bul. carte géol.*, t. I, 1889.

est classique et, en particulier, à la superposition d'un gneiss gris sur un gneiss rouge admise par Hummel, une valeur très absolue.

Quoi qu'il en soit, la plupart de ces couches contiennent du fer :

1° Le gneiss rouge (laurentien) forme les gisements du Nord de la Suède : Gellivara, Svappavara, Luosavara, Folberg, etc.

Au mont *Gellivara*[1], sous le parallèle de 67° 20′, des amas, composés de magnétite et d'oligiste, atteignent des puissances de 30 à 60 mètres et se poursuivent en direction par des bancs minces sur 6 kilomètres de long; ces bancs sont interstratifiés dans le gneiss rouge et composés d'un mélange de fer oligiste et de magnétite.

Les minerais appartiennent à la première catégorie mentionnée plus haut[2]; en dehors de leur position dans un pays désert et septentrional, ils ont le défaut d'être très siliceux et difficiles à enrichir mécaniquement; mais ils constituent, sur une étendue énorme et souvent sur une grande épaisseur, une série de lits très continus dont l'exploitation pourra devenir un jour très fructueuse.

En Norvège, le grundgebirge est rarement minéralisé; mais on trouve, au milieu de lui, un granite zoné qui est le fameux *jerngranite*, ou granite ferrugineux, composé de quartz et feldspath avec oligiste et magnétite, où l'on a fait quelques tentatives d'exploitation, par exemple à Stohlberg sur la côte d'Arendal[3].

2° La zone des hälleflinta renferme les minerais les plus importants de Suède : ceux à gangue de skarn et ceux à gangue calcaire.

Nous allons passer en revue successivement quelques-uns de ces gisements : Norberg, Persberg et Dannemora.

[1] 1863. Turley. — (*Berg. u. H. Z.*, p. 348.)
1881. V. Groddeck, p. 130.
1884. Brustlein. — Fer de Laponie. (*Ind. Min.*, comptes rendus, juillet 1884.)
1884. Schwarze. — Fer de Laponie. (*Stahl und Eisen*, juillet 1884.
1884. Crzyzkowski, p. 278.

[2] Page 702.

[3] Voir page 659.

GITE DE NORBERG[1]

Les mines de fer de Norberg, au Nord-Est de la province du Westmanland, exploitées depuis le XIVe siècle (premier privilège en 1354), sont aujourd'hui, de beaucoup, les plus importantes en Suède.

De 1870 à 1879, la production moyenne de Norberg a dépassé 100 000 tonnes de minerai, contre 50 000 à Persberg, 30 à 40 000 à Dannemora et à Grangesberg; 15 à 20 000 à Stripa, à Dalkarlsberg et à Vinkärn; 10 à 15 000 à Pershytte, Lerberg, Högborn, Nordmark, Gräsberg, Bispberg, Romme, etc. En 1889, Norberg a produit 64 365 tonnes.

Ces mines appartiennent à la Société Minière de Norberg-Risberg et les exploitations sont surtout concentrées autour de Norberg, et de Risberg. Une ligne de chemin de fer, partant de Krylbo et allant à Tillberga, les dessert.

Géologie générale de la région. — La région est constituée par des terrains anciens, analogues à ceux où nous rencontrerons la pyrite de fer cuivreuse de Falun, la blende de Ammeberg et, généralement, la plupart des minerais interstratifiés de Scandinavie. Ce sont (voir la carte ci-jointe, fig. 109) des zones successives, orientées N.E.-S.O., de micaschiste, de leptynite (eurite des Suédois) et de dolomie, limitées au Sud presque immédiatement par un grand massif de granite rose, sans mica noir, dont il est difficile d'apprécier les relations avec ces terrains.

Les leptynites sont des roches feldspathiques zonées, qu'on peut comparer à des granulites stratiformes.

Les minerais de fer se présentent, les uns dans les leptynites (minerais secs), les autres dans la dolomie (minerais calcaires).

D'une façon générale, ils affectent la forme d'une série de poches, assez régulièrement alignées en général, sur une longueur totale de 9 kilomètres, sauf au S.-E., à Risbergs-fältet[2], où les couches ont subi des inflexions multiples.

[1] Coll., *École des Mines*, 1748.

[2] Fältet signifie champ d'exploitation.

Les groupes principaux sont : du Nord au Sud, Kallmorbergs-fältet, Nya[1] Morbergs-fältet, Gamla[2] Morbergs-fältet, Norrbergs-fältet, Risbergs-fältet, Getbacks-fältet, Röbergs-fältet, Smörbergs-fältet, sur une première bande de leptynites ;

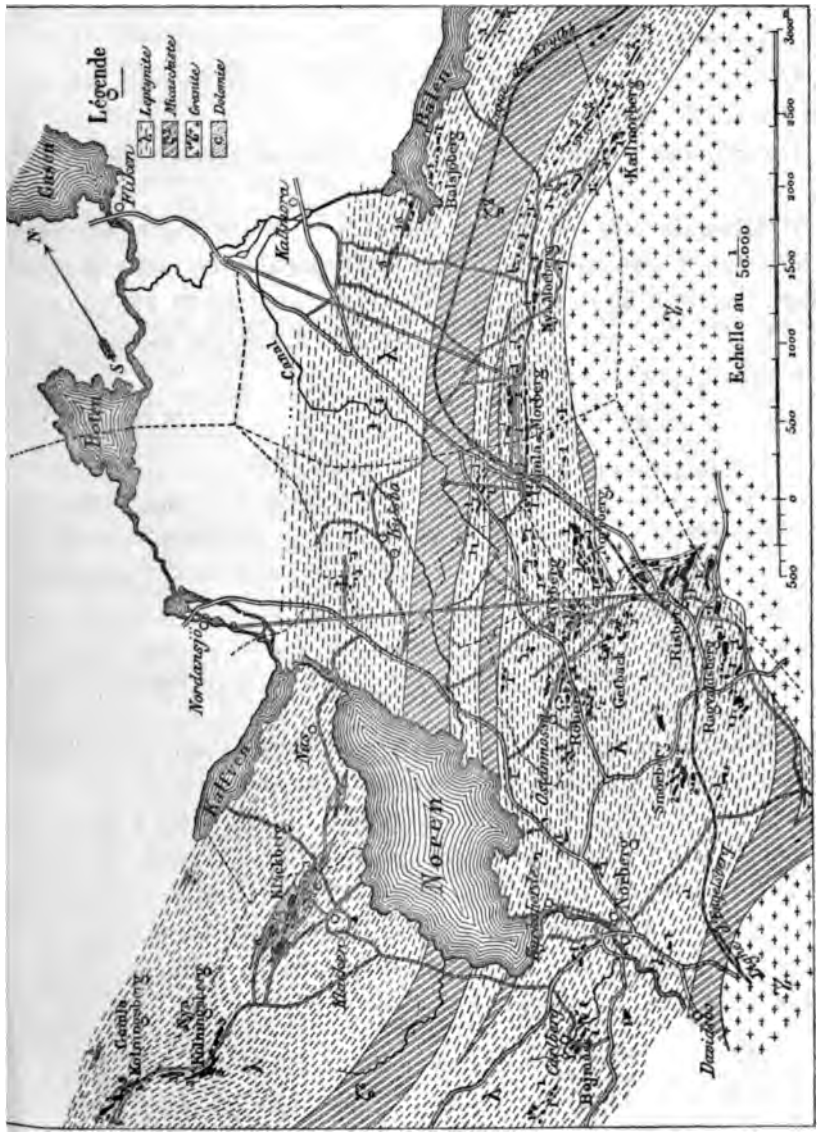


Fig. 109. — Carte géologique de la région de Norberg, d'après M. Törnebohm.

[1] Nya, nouveau.

[2] Gamla, ancien.

puis Klackbergs et Gamla Kolningsbergs-fältet dans des dolomies, au milieu d'une seconde bande de leptynites plus à l'Ouest.

Les mines exploitées en 1889 ont été : ***Moss et Kilgrufvan***, dans Risbergs-fältet ; *Asgrufvan*, dans Getbacks-fältet ; *Grœndal*, *Stor* et *Granrots-Grufvan* dans Klackbergs-faltet ; enfin *Gamla* et *Nya Kolningsbergs-fältet*.

L'extraction a été, en 1889, de 90 700 tonnes de tout venant, ou 64 365 de minerai.

Les minerais peuvent se rapporter à trois catégories principales :

1° **Minerais secs** (Torrsten Malm) — formés principalement d'hématite à gangue quartzeuse, la proportion de cette gangue étant d'environ 20 p. 100. En 1889, on en a extrait 21 293 tonnes, 15 438 de plus que l'année précédente. L'analyse moyenne de ces minerais est la suivante :

Oxyde de fer	35,71	fer : 49 p. 100
Oxydule	33,13	
Protoxyde de manganèse	0,15	
Magnésie	0,13	
Chaux	6,20	
Alumine	0,50	
Silice	21,80	
Acide phosphorique	0,61	
Soufre	0,08	
Cuivre	traces	

2° **Minerais calcaires.** — Principalement magnétiques, à gangue dolomitique, contenant souvent une forte proportion de manganèse. Ces minerais proviennent de la région Ouest, c'est-à-dire des mines de Klackberg et de Kolningsberg. On en extrait, en 1889, 38 801 tonnes, en diminution de 10 742 sur l'année précédente. On y rencontre souvent des variétés formées de feuilles alternatives de magnétite et d'épidote ainsi que de la magnétite imprégnée de grenat. En voici une analyse :

Oxyde de fer magnétique	Protoxyde de manganèse	Magnésie	Chaux	Alumine	Silice	Perte à la calcination
76,00	10,40	1,05	1,20	2,05	1,13	15,00

3° **Minerais noirs** (Svart malm) — à gangue de skarn, c'est-à-

dire de pyroxène, contenant un mélange d'oxyde et d'oxydule de fer et concentrés surtout dans la région de Rœberg et de Getback.

L'analyse d'un de ces minerais, provenant de Asgrufvan (Getbacks-fältet) donne :

Oxyde de fer	3,57
Oxydule de fer	63,80
Protoxyde de manganèse	0,23
Magnésie	5,26
Chaux	8,60
Alumine	0,16
Silice	18,60
Acide phosphorique	0,09
Soufre	0,45
Cuivre	traces

Ces divers minerais sont utilisés surtout dans les usines de Domnarvet, Korsnæs, Avesta, Sanolveken, etc. Nous décrirons tour à tour quelques gisements de chacune des sortes.

1° Les gisements de *minerai sec* sont généralement les plus rapprochés du granite. On peut les voir aux environs de la station de *Kärrgrufvan,* à *Risberg,* etc.

Ils se présentent sous forme d'un véritable gneiss ferrifère, où l'oligiste jouerait le rôle du mica. On y voit des raies alternantes de quartz et d'oligiste, l'un blanc, l'autre noir, parfois contournées de telle sorte qu'il est difficile de ne pas rattacher l'orientation et la cristallisation du fer au phénomène même qui a formé le gneiss, soit directement, soit par métamorphisme. Ce gneiss présente souvent des veinules jaunes grenatifères ; en outre, il est traversé par des veines de quartz présentant l'aspect du quartz des pegmatites et contenant de grands cristaux d'oligiste. Quelques-uns de ces quartz, au voisinage immédiat de la station de Kärrgrufvan, contiennent en grande abondance des géodes remplies de bitume presque liquide. L'oligiste, également en grands cristaux, s'y concentre parfois, avec de la calcite, dans des fissures. Enfin, ce qui confirme l'âge ancien du fer, on rencontre souvent une brèche de gneiss ferrifère, empâtée par de la granulite à épidote qui traverse la masse en filons. Un grand massif de granulite, situé au Sud, envoie des ramifications nombreuses dans le gîte. Nous ajouterons que des diabases le recoupent également.

2° Comme type de gisements de *minerai calcaire,* nous citerons les mines de *Klackbers-fältet.* Là, le minerai est en lentilles dans une dolomie, intercalée elle-même au milieu de la leptynite (eurite). Le minerai, presque exclusivement composé de magnétite, contient 10 p. 100 de manganèse et 2 p. 100 de graphite qui se concentre souvent en veines minces. La présence de ce graphite est un rapprochement de plus avec les terrains du même âge où nous avons rencontré le graphite en Bohême[1]. Peut-être y aurait-il également une relation à établir entre lui et le bitume (un peu plus récent) constaté dans les veines de quartz qui recoupent le minerai sec. Toujours est-il que ce graphite se retrouve également dans le minerai calcaire de Kolningsberg (kol, charbon) et qu'à une dizaine de kilomètres de là, à Halfvarsbenning, on rencontre un véritable gisement de graphite en poches dans le gneiss, gisement qu'on se propose d'exploiter. Le manganèse s'isole parfois en knébélite (péridot manganésifère). La magnétite est généralement à grain très fin. Exceptionnellement, on rencontre des traces de pyrite ou d'autres sulfures métalliques.

3° Les *minerais à gangue pyroxénique* ont pour roche encaissante la même leptynite que les précédents. La magnétite y domine, avec des alternances vertes de chlorite et d'amphibole, et de grandes concentrations d'amphibole. La présence de cette amphibole peut correspondre à un peu de calcaire qui se serait trouvé primitivement dans les couches dont le métamorphisme a produit le gneiss.

Bibliographie de Norberg.

1873. Strippelmann. — Die Eisen Erzlagerstätten Schwedens (Prague).

1874. Smith. — Sur les minerais de fer de la Suède. (Meeting of Iron and Steel instit. à Barrow.)

1876-81. Törnebohm. — Geologisk öfversigts Karta ofver mellersta Sveriges Bergslak. (Imprimé par le Jernkontor.)

1883. Lonquéty. — Journal de voyage manuscrit à l'Ecole des Mines.

1883. Nordenström. — L'industrie minière en Suède.

1884. Akerman. — Le fer en Suède. (*Cuyper*, 2e, t. III, p. 525.)

1884. Czyszkowski. — Minerais de fer, p. 272.

[1] Voir page 41.

6. CHAPUY. — Journal de voyage manuscrit à l'Ecole des Mines, p. 4.
9. GRANSTROM. — Notice (en suédois) sur Norberg.
0. Norbergs Gemensamma grufveförvaltning. (Stockholm, chez Beck-
)
0. L. DE LAUNAY. — Notes de voyage inédites.

GITE DE PERSBERG

mine de fer de Persberg, à l'Est de la province de Wærm-
est aujourd'hui la seconde mine de fer de Suède, après
été longtemps la première. Comme Norberg, elle a été
ıitée depuis le milieu du XIVe siècle. Sa production est
ırd'hui d'environ 50 000 tonnes. Elle a été la suivante :

1879	1881	1882
42 750	47 900	47 898

s conditions de gisement, sur lesquelles nous n'insisterons
sont très analogues à celles que nous avons rencontrées à
erg : zones alternantes de gneiss et d'hälleflinta; au milieu
ıälleflinta, veines de grenat et de pyroxène et veines de cal-
; minerai en lentilles interstratifiées. Le minerai, compa-
aux minerais calcaires et pyroxéniques de Norberg et
ellente qualité, est formé surtout de magnétite avec propor-
variables d'hématite. Il est souvent accompagné de très
; proportions de grenat et de pyroxène. L'inclinaison du
:st presque verticale. Sa puissance, de 20 mètres en moyenne,
ıt parfois jusqu'à 50 mètres. Les affleurements s'étendent, du
au Sud, sur 9 kilomètres environ, sur le bord N.-O du lac
n.

Bibliographie.

. LONQUÉTY. — Journal de voyage manuscrit à l'Ecole des Mines,

. CHAPUY. — Journal de voyage manuscrit à l'Ecole des Mines, p. 6.

GITE DE DANNEM

Les mines de Dannemora, qui ont la meilleur fer de Suède et dont l'exploitati XIIIe siècle, sont situées non loin d'Orby de Stockholm à Giefle, à peu près à éga d'Upsal), à laquelle elles sont reliées pa 9 kilomètres). Les minerais sont traités Orbyhus, etc. La production est d'envi ouvriers). En outre, un filon transver galène, avec un peu de cobalt et de py depuis quelques années, donne 2 000 ton tonnes de galène.

Géologie générale. — Les gisements sc assez plat, aux environs immédiats du la pu empêcher les eaux d'envahir la mir coûteux. Ils forment une série de lenti calcaire allant du lac Grufsjön au lac de lée elle-même au milieu des hälleflinta d dont deux ou trois veines alternent ave contact de certains amas de minerai. (fig. 110), due à M. Tornebohm[2], montre et de calcaire, dirigées N.-E.-S.-O., limi granite d'Upsal ; à l'Ouest, par le granite raissent des pointements de granite d'El

Les halleflinta les plus communs ont nebohm[3] comme des roches grises, à fac sées d'une pâte presque compacte et pétr abondamment semée de grains de qua voit, en lumière naturelle, une pâte clair minéral verdâtre et dichroïque. En lum

[1] Coll. *École des Mines*, 1746.
[2] Description de Dannemora publiée en 1878.
[3] *Loc. cit.*, p 14.

claire se résout en un agrégat de cristaux de quartz extrêmement fins, contenant un peu de feldspath et de mica ; les minéraux verts sont de la chlorite et de l'amphibole.

Dans la région de Dannemora, ces hälleflinta ne sont qu'exceptionnellement veinés et schisteux dans une bande située à l'Est du gîte. Au contact immédiat du gîte, ils ressemblent à un porphyre.

Quelques filons de diorite, de porphyre feldspathique (felsit-

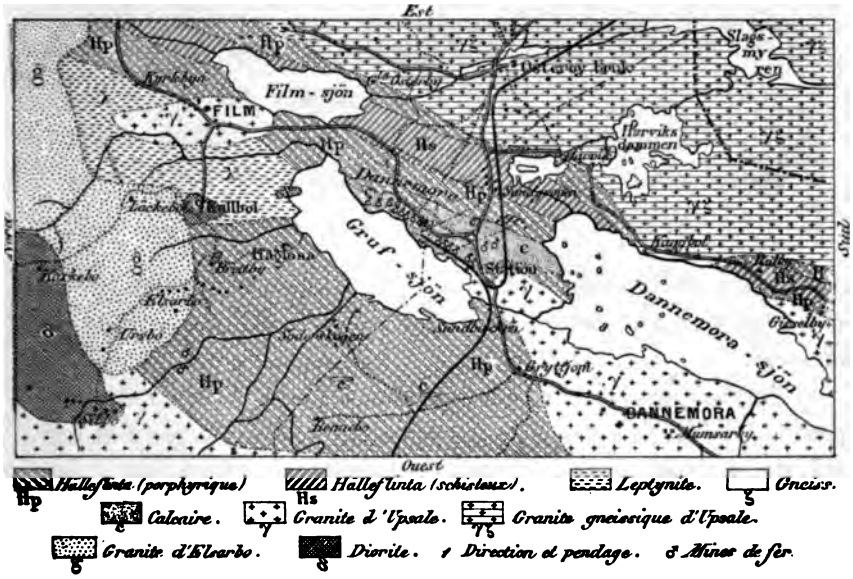


Fig. 110. — Carte géologique de la région du Dannemora (d'après M. Törnebohm).
Echelle au $\frac{1}{100.000}$.

porphyr) et de porphyrite (grœnstens porphyr)[1], enfin de skarn[2] recoupent, en outre, le minerai.

La bande ferrifère exploitée à Dannemora a environ 200 mètres de large sur une longueur de 2 kilomètres (fig. 111). Sa direction est N. 10° E. Les lentilles, nettement interstratifiées, ont,

[1] Ce grœnstens porphyr comprend, d'après M. Törnebohm (p. 16), des cristaux de première consolidation de plagioclase, hornblende, augite et magnétite, dans une pâte à microlithes de plagioclase.

[2] Voir page 717.

comme le terrain encaissant, une inclinaison de 75 à 80 degrés avec un plongement vers l'Ouest. La mine est arrivée à une

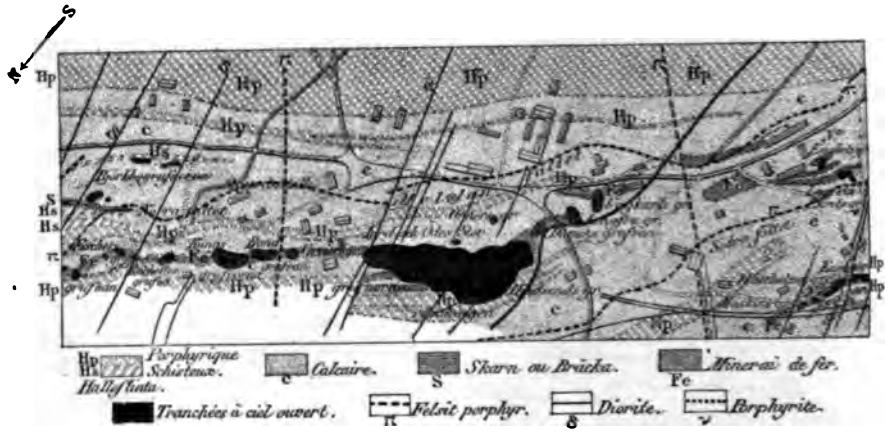


Fig. 111. — Plan de la zone ferrifère à Dannemora.

profondeur de plus de 200 mètres, sans qu'aucun changement se soit produit, ni dans l'épaisseur, ni dans la composition du minerai.

Si l'on examine en détail le plan des lentilles de magnétite, on peut les rattacher à trois bandes principales séparées par des hälleflinta. La plus grosse masse, dont l'antique excavation à ciel ouvert, de 50 mètres de large et 200 mètres de profondeur, est

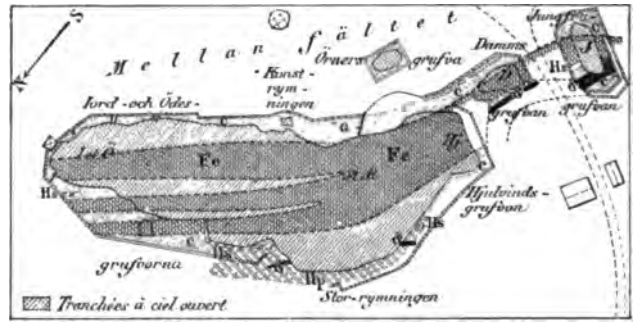


Fig. 112. — Plan de la grosse lentille de Dannemora (mêmes figurés qu'à la figure 111).

tout à fait grandiose, se trouve dans la seconde (fig. 112 et 113). Elle-même n'était pas entièrement composée de minerai, mais présentait, à l'Ouest, trois grosses veines séparées par du calcaire

et venant se réunir au Sud. Le calcaire est nettement interstratifié, et les veines sont concordantes avec lui avec passages graduels de l'un à l'autre et alternances. Au Nord, cette lentille est limitée par une grande faille.

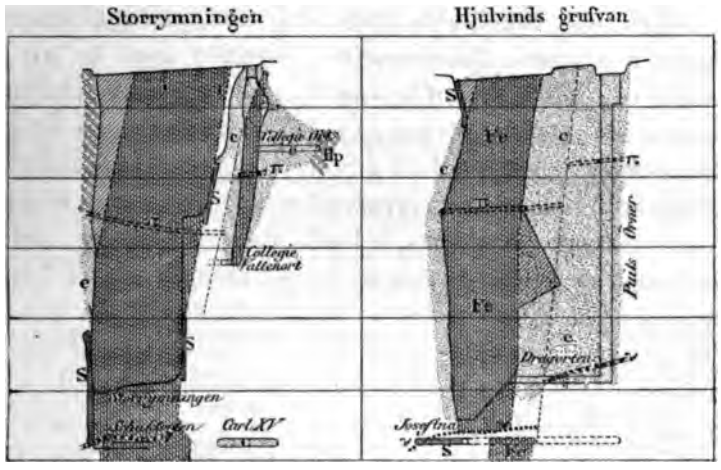


Fig. 113. — Coupes transversales de la grosse lentille de Dannemora. (Champ du milieu : Mellan fältet.)

Le *minerai* est composé de magnétite avec gangue, soit de calcaire au Sud, soit de skarn ou brœcka (amphibole et grenat) au Nord. Cette magnétite est toujours à grain fin. En voici trois analyses :

GISEMENTS SEPTENTRIONAUX		MOYENS	MÉRIDIONAUX
Oxyde de fer magnétique.	65,86 (fer: 48,80)	71,65 (fer: 52,44)	72,25 (fer: 53,49)
Protoxyde de fer.	1,45	0,71	1,50
Protoxyde de manganèse.	0,89	2,23	2,05
Magnésie.	4,54	5,66	4,14
Chaux	7,62	5,20	5,50
Alumine	1,08	1,49	2,60
Silice.	15,32	9,30	8,90
Acide phosphorique. . . .	0,002	0,005	0,009
Soufre	0,171	0,027	0,038
Perte à la calcination. . .	2,80	3	1,80
	99,413	99,272	98,787

Le *skarn* ou *brœcka*[1] se trouve souvent dans le minerai ou à son

[1] D'après Törnebohm, p. 16.

voisinage. C'est une roche verdâtre composée surtout d'une amphibole fibreuse contenant, d'après les analyses d'Erdmann :

Silice	Alumine	Chaux	Magnésie	Oxyde de manganèse	Oxydule de fer
48.89	1,46	0,73	2,91	8,46	38,21

c'est-à-dire une amphibole (actinote) très manganésifère que Kenngot a nommée *Dannemorite* [1], associée avec de pyroxène dont elle est probablement la transformation métamorphique. On en trouve les meilleurs types dans la partie moyenne du champ de Dannemora, à Hjulvind ou à Storrymningen. Des variétés grenatifères se trouvent à Stœrgrufvan et à Norra. On y rencontre, comme minéraux accessoires, la knébélite (péridot manganésifère), la pyrosmalite (chlorosilicate de fer et manganèse) et l'axinite.

Le soufre est relativement assez abondant dans ces minerais; s'il ne nuit pas à la haute qualité du fer obtenu, c'est que tous les minerais suédois passent, avant la fusion, par un grillage préalable. Ce soufre se trouve à l'état de pyrite, surtout dans la partie Nord de Dannemora, et l'on en rencontre également dans la plupart des minerais de Suède, appartenant, comme celui-là, à la catégorie des minerais calcaires. On a cru remarquer que cette pyrite devenait plus abondante au voisinage de divers filons de porphyre, de diabase et de chlorite avec calcite qui traversent le gîte. Elle existe dans la magnétite, tantôt en cristaux isolés qui sembleraient contemporains de sa formation, tantôt en veinules qui paraissent postérieures. Nous rappelons d'ailleurs que, dans la partie Sud, il existe, à travers le gîte, un véritable filon exploité de sulfures divers.

Bibliographie de Dannemora.

1816. Haussmann. — Reise durch Skandinavien, t. IV, p. 69.
1826. Himsger. — Mineral Geogr. v. Schweden, p. 107.
1846. Daubrée. — Gisements de Scandinavie.
1850. Erdmann. — Dannemora Jermalms fält (Upsala). (*K. Vet. Akad. Handl* traduit dans le Leonhards Jahrbuch, 1853, p. 67.)
1855. Durocher.
1861. Cotta, pages 531, 662, 675.
1876. Om Dannemora Jernmalms fält. (*Bit. till. K. Vet. Akad. Handl.*, t. V, n° 2.)

[1] Uber die Resultate mineralogischer Forschungen, 1855, p. 61.

*1878. Törnebohm. — Beskrifning till geologisk atlas ofver Dannemora grufvor. (Texte et atlas.)
1881. V. Groddeck, p. 179.
1883. Lonquéty. — Journal de voyage manuscrit à l'École des Mines, page 21.
1890. L. de Launay. — Notes de voyage inédites.
Voir aussi la bibliographie de Norberg, p. 712.

FER DU LAC SUPÉRIEUR, AUX ÉTAT-UNIS[1]

(Couches d'hématite rouge entre les quartzites et les phyllades huroniens.)

Les minerais de fer du lac Supérieur se trouvent dans des couches huroniennes dont nous aurons l'occasion, à propos des gîtes de cuivre de la même région, de donner l'allure géologique.

Ces couches huroniennes sont formées de quartzites, calcaires, chloritoschistes, talcschistes, etc., plissés et en stratification dis-

Fig. 114. — Carte du district minier de Negaunee (lac Supérieur), d'après H. Wedding et Sauvage. — Affleurement de la couche.

cordante sur les assises redressées du système laurentien. Le fer, qu'on y rencontre à l'état d'hématite rouge dans les Etats de Michigan et du Wisconsin, alimente aujourd'hui les exploitations les plus importantes de toute l'Amérique du Nord.

Dans le district de Negaunee, près de Marquette (fig. 114), les

[1] Coll. *École des Mines*, 1600. Voir la carte géologique, pl. I, p. 73.

couches huroniennes ferrifères forment un fond de bateau à pentes raides dont le flanc supérieur a une allure très simple et dont le flanc Sud présente de nombreux plissements locaux. Le mur du fond de bateau est occupé par des quartzites contenant parfois des traînées de dolomie siliceuse et par des chloritoschistes, intéressants parce qu'ils renferment des masses lenticulaires de quartz vitreux avec inclusions de chalcopyrite, de pyrite aurifère et de galène. Au-dessus, vient une zone puissante de quartzites ferrifères avec rognons de quartz ferrugineux, contenant des nappes intercalées de diorite.

C'est sur cette zone que reposent, dans la partie supérieure du bassin, les amas d'hématite rouge, exploités à ciel ouvert sur une très vaste échelle. L'hématite est tantôt grenue et alors formée quelquefois d'un agrégat de petits octaèdres de martite, tantôt compacte et schisteuse. Les minerais compacts et siliceux renferment aussi des octaèdres de martite, des houppes de fer oligiste et, dans les cavités, de l'hématite brune. Les plans de stratification des variétés schisteuses présentent une forme ondulée.

Accidentellement, le minerai est transformé en hématite brune et accompagné de minerais de manganèse, notamment de psilomélane et d'hausmannite. D'après Wedding[1], les amas ont de 5 à 7, parfois jusqu'à 30 mètres de puissance et ne sont pas nettement séparés des quartzites qui les entourent.

Au toit de cette zone, apparaissent des phyllades foncés contenant parfois de la pyrite, de l'anthophyllite et de l'actinote et passant à des micaschistes avec staurotide et andalousite.

Le prolongement occidental de ce bassin contient, dans des conditions géologiques semblables, les amas l'hématite rouge d'Iron Ridge, de Smiths'Iron Mountain et de Michiganni Iron Mountain. Le district ferrifère de *Menomonee,* au Sud du lac Supérieur, sur les bords du fleuve Sturgeon, appartient à la même formation. Il présente cette particularité d'avoir été traversé par un filon de granite de $2^{m},50$ de puissance, qui a développé, à son contact, des cristaux d'oligiste dans des fissures.

[1] Wedding. — (*Zeitz. f. d. B. H. u. S. im preuss.*, 1876, t. XXIV, p. 345.)

Bibliographie.

1865. — Production du fer et des combustibles aux États-Unis. (*Bull. Ann. des M.*, 6e, t. XII, p. 703.)

* 1873. — Description géologique de la région ferrifère du lac Supérieur. (*Geolog. survey of Michigan. Upper peninsula*, 1869-1873.)

* 1875. SAUVAGE. — Sur les minerais de fer du lac Supérieur. (*Ann. d. M.*)

* 1876. WEDDING. — (*Zeitsch. f. d. B. H. u. S. im preus.*, t. XXIV, p. 345.)

E. WODSWORTH. — Notes on the geology of the Iron and Copper districts of *Lake Superior*. (*Bull. of the museum of comparative Zoology. Geologica Series*, n° 1. Cambridge (États-Unis.)

1880. WODSWORTH. — On the origin of the Iron ore of Marquette district, *Lake Superior*. (*Proceed. A. A. Boston*, t. XX, p. 470. Boston, 1880.)

1881. GRODDECK, p. 185.

FER DE MOKTA-EL HADID

(AIN MOKRA, KHAREZAS, BOU HAMRA[1])

(Couches et amas de magnétite et oligiste en relation avec des cipolins du terrain primitif.)

Le gîte de *Mokta-el Hadid* (Ain Mokra) est situé, dans le département de Constantine, au pied du versant Sud du grand massif montagneux qui s'étend du Cap de fer à Bône, près du lac Fezzara.

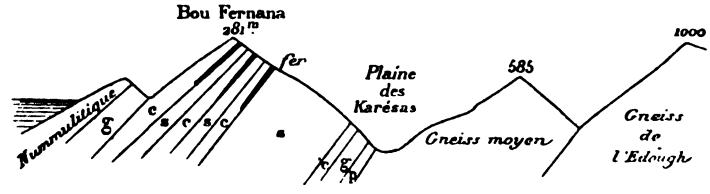


Fig. 115. — Coupe de la région de Mokta-el-Hadid, d'après M. Parran.

g, gneiss feuilleté supérieur. — *s*, schistes micacés grenatifères alternant avec cipolins (*c*) et minerais de fer. — *p*. pyroxénite.

Un chemin de fer de 35 kilomètres relie Mokta à Bône, son port d'embarquement. La mise en valeur de la concession est due à M. Paulin Talabot, du chemin de fer P.-L.-M., qui la recéda

[1] Notes de voyage de l'auteur en 1891. Voir Coll. *École des Mines*, 1915.

ensuite à la compagnie des mines de Mokta, au capital de 15 millions de francs

Cette compagnie reprit bientôt les concessions de Mokta, de Bou Hamra et de Karesas (cette dernière plus près de Bône) et créa, au capital de 20 millions, la compagnie des transports maritimes dont le trafic principal consistait à transporter les minerais de Bône à Marseille, par vapeurs de 1 000 tonnes environ. La production a atteint, en 1874, 430 000 tonnes, puis elle a diminué progressivement et, en 1888, elle a été de 127 256 tonnes (à 8.73). La même compagnie exploite d'ailleurs activement, dans le département d'Oran, les minières de Beni-Saf (la Tafna [1]) ayant appartenu à la Société algérienne et dont elle a tiré, en 1888, 250 702 tonnes d'hématite rouge (à 8 fr. 50) ; en outre, elle possède les mines de fer inexploitées de Tabarca (Tunisie) [2], des mines de houille dans le Gard et des gisements à Krivoïrog, en Russie [3].

Géologie de la région. — Le gisement de Mokta, composé de fer oxydulé et de fer oligiste massifs, est considéré comme interstratifié, par substitution à des bancs calcaires, dans un terrain de gneiss et schistes micacés qui a été étudié en détail par M. Parran.

Les niveaux de ce gneiss sont, de haut en bas [4] :

1° Gneiss feuilletés supérieurs (*g*) ;

2° Schistes micacés et grenatifères avec bancs subordonnés de calcaire, d'argiles et de minerai de fer (niveau de Mokta) (*s* et *c*) ;

3° Gneiss schisteux (*g*), avec amas de pyroxénite (*p*) et autres minerais de fer intercalés entre les bancs de gneiss ;

4° Gneiss glanduleux de l'Edough.

Le gneiss inférieur de l'Edough est à mica noir et blanc, ce dernier pouvant résulter de l'injection de veines de granulite. Il prend souvent l'aspect glauduleux, et renferme fréquemment, ainsi que le gneiss moyen, des enclaves d'une pyroxénite verte massive, essentiellement formée de pyroxène et de grenat, noyée aux affleurements dans une terre rouge. Cette roche ne forme nulle part ni

[1] Voir plus loin, p. 815.
[2] Voir plus loin, p. 818.
[3] Voir plus loin, p. 738.
[4] Voir fig. 115, p. 721.

dyke ni filon. Elle est, comme le calcaire et le fer, en amas lenticulaires et renferme, comme éléments accessoires, de la pyrite de fer, du sulfure double d'antimoine et de fer, des cristaux de grenat, de feldspath, etc. M. Parran est porté à la considérer comme une roche éruptive contemporaine de la formation dans laquelle elle est enclavée, et à établir une relation entre elle et les marbres et minerais de fer.

Nous verrons, en effet, que le minerai de fer se présente au milieu des calcaires, tantôt à leur toit, tantôt à leur mur, tantôt dans leur centre, ou même les remplace complètement; en résumé, se comporte comme un produit de substitution. Il est possible que des actions chimiques connexes aient transformé d'autres calcaires siliceux en pyroxénites, comme semblerait le prouver la richesse de celles-ci en grenats (minéral de métamorphisme au premier chef). Pour nous, les gneiss, schistes micacés, cipolins, pyroxénites, etc., ne sont que le résultat du métamorphisme d'un terrain sédimentaire; la formation des pyroxénites et lentilles de fer serait alors, à notre avis, non pas précisément contemporaine du dépôt des terrains encaissants, mais des actions chimiques qui en ont fait des schistes micacés et leur ont donné leur allure actuelle[1].

L'étage des schistes micacés grenatifères avec cipolins et minerais de fer est celui qui nous intéresse spécialement. Les bancs calcaires y forment, en réalité, des bandes lenticulaires très allongées, mais qui présentent des interruptions, tout en restant dans le même plan de stratification.

Les minerais de fer se présentent également en amas lenticulaires entre les calcaires et les argiles ou schistes imperméables[2]. Le minerai passe au calcaire pur en perdant peu à peu sa richesse en minerai; il se compose, aux affleurements, d'un mé-

[1] Nous ne la considérons pas non plus comme le résultat d'une éruption, mais d'un métamorphisme dû, en grande partie, à des actions hydrothermales et très postérieur au dépôt initial des terrains, y compris le calcaire.

Pour MM. Parran, Chaper, de Chancourtois, la formation du minerai de fer est, au contraire, à peu près contemporaine de celle du calcaire, qu'ils semblent portés à attribuer lui-même à des épanchements de sources.

[2] On peut remarquer qu'aujourd'hui encore les sources principales de la région jaillissent au contact des calcaires et des schistes. Les eaux métamorphisantes paraissent avoir, de même, suivi ce contact.

lange intime de fer oxydulé et de fer oligiste massifs, rendant 60 p. 100 de fonte dans le haut fourneau et présentant une teneur de 1 à 2 centièmes de manganèse[1]. Par un phénomène qui paraît assez général, l'oxyde magnétique tend à dominer dans la profondeur et au voisinage des calcaires, en acquérant une très grande dureté. On s'explique aisément que l'oligiste soit un minéral en relation avec des actions superficielles. La production de la magnétite et sa prédominance au voisinage du calcaire[2] sont, au contraire, probablement attribuables à une venue primitive du fer à l'état sulfuré, suivie d'une précipitation par la chaux et d'un métamorphisme, comme sembleraient l'indiquer les faits suivants :

1° Les pyrites de fer se trouvent en veinules dans les calcaires du toit et dans les argiles du mur ; quelques mouches de galène ou de pyrite cuivreuse les accompagnent.

2° Les schistes micacés du toit, très chargés de grenats, contiennent fréquemment un peu d'amphibole. Au cap de Garde, à 12 kilomètres de Bône, on trouve des cipolins extrêmement développés où l'amphibole est assez abondante pour avoir donné à la roche une couleur verte uniforme sur laquelle tranche la teinte brune des grenats dont ils sont criblés. Là le minerai de fer ne se trouve qu'en rognons isolés et l'on observe encore, dans les schistes du toit, des veines sulfureuses. A Mokta même, on ne trouve jamais de carbonate de fer, mais parfois un peu de pyrite[3].

Description du gisement de Mokta. — Parmi les divers affleurements de minerai de fer de la région, nous étudierons surtout celui de Mokta proprement dit.

C'est, au milieu des cipolins, une couche assez continue, suivie sur 2 kilomètres de long, de minerai de fer présentant

[1] Le manganèse n'est pas disséminé uniformément dans la masse, mais isolé en veines minces qu'on retrouve, au voisinage, dans les schistes.

[2] En Suède également, nous avons trouvé la magnétite principalement auprès du calcaire.

[3] On a rencontré à Mokta une poche de chlorure de fer.
Dans les gisements analogues, à gangue de skarn, en Scandinavie, on retrouve également des sulfures ; souvent même, avec la magnétite, une certaine abondance de pyrite cuivreuse.

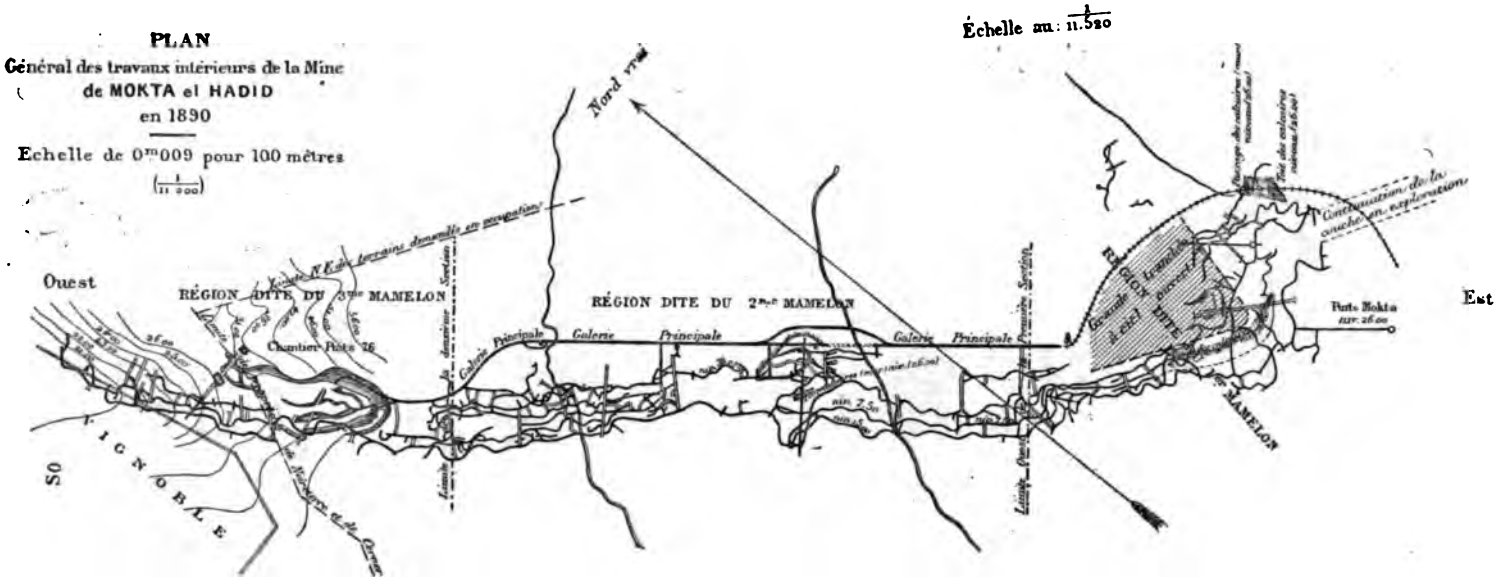

PLAN
Général des travaux intérieurs de la Mine
de MOKTA el HADID
en 1890
Echelle de 0m009 pour 100 mètres
(1/11 000)
Échelle au : 1/11.520
Nord vrai
Ouest
Est
RÉGION DITE DU 3me MAMELON
RÉGION DITE DU 2me MAMELON
Chantier Puits 26
Galerie Principale
Puits Mokta
niv. 26.00
MAMELON

Fig. 116.

des élargissements lenticulaires et des amincissements. La forme de l'affleurement (fig. 116), autrefois considérée comme formant une courbe concave vers le Nord, se présente, d'après les derniers travaux de 1890, comme à peu près rectiligne.

Le grand amas ou premier mamelon, d'abord découvert et aujourd'hui presque complètement dépilé (jusqu'à la cote — 15^{m} environ), avait une inclinaison de 30° et 40 mètres de puissance (95 mètres suivant l'horizontale). 500 mètres plus à l'Ouest, on a retrouvé un second mamelon moins gros, qui est également pris en grande partie et a fourni 800 000 tonnes. Vers l'Ouest, l'inclinaison diminue de plus en plus et l'épaisseur se réduit à 1 mètre : ce qui est encore exploitable ; vers l'Est, on est venu buter assez rapidement contre une faille. Une coupe transversale dans la région du premier mamelon (fig. 117) montre la disposition du minerai de fer, intercalé dans sa partie supérieure entre des schistes plus ou moins argileux et grenatifères, souvent un peu discordants avec le gîte, et, en profondeur, se perdant progressivement dans un banc calcaire qu'il a sans doute complètement remplacé en haut. A la surface du sol, on trouve souvent des fragments de minerai à peine roulés ou *caillasses* qui semblent devoir être attribués à la destruction des affleurements et qui constituent une bonne partie de la production de la mine[1].

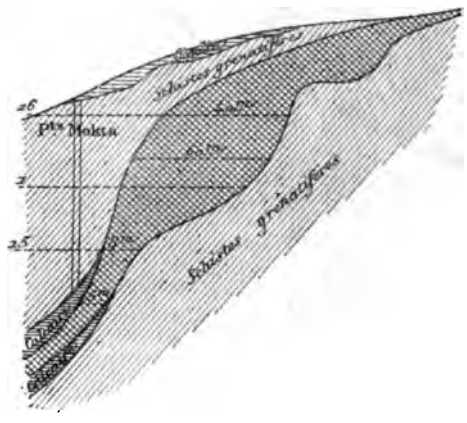


Fig. 117. — Coupe verticale Nord-Sud du gîte de fer de Mokta.

Minerais. — On distingue deux minerais, tous deux mélangés de sesquioxyde et de magnétite : le minerai rouge et le minerai gris. Le gris, un peu moins riche, doit sa couleur au calcaire. Il

[1] Voir plus haut, page 670, un phénomène analogue à Nijni-Taguil.

domine en profondeur et ne contient plus de manganèse. Tous deux sont exempts de soufre et de phosphore.

L'analyse d'un minerai donne :

Fe^2O^3		88, 25
Mn^3O^4		2, 50
SiO^2		6, 10
Al^2O^3		1, 50
CaO		0, 45
Perte au feu		1, 90
S	0,09	à 0, 65
Ph	0,	à 0,003
Mn	1,	à 6, 25
Cu	0,001	à 0, 04
Titane	1,	à 6

Ce minerai s'est exploité longtemps, par suite du faible plongement des couches, en grande partie à ciel ouvert et dans des conditions de bon marché exceptionnelles. On l'entaillait alors par d'immenses gradins, du pied desquels partaient les wagons qui se rendent à Bône.

Aujourd'hui les travaux sont presque exclusivement souterrains ; on paye la tonne de 1 fr. 50 à 2 fr. 50 (main-d'œuvre, remblayage, boisage et poudre); dans les découverts, l'abatage revient à 0 fr. 55 par mètre cube.

Le prix de revient à Bône n'a jamais dépassé 6 francs, et le prix de vente a été jusqu'à 20 fr.; aujourd'hui, il est de 8 fr. 70. Le cubage de la masse a été l'objet d'évaluations très diverses ; on peut estimer qu'elle a été de 12 à 15 000 000 de tonnes ; on en a déjà retiré plus de 6 millions.

La mine occupe 5 à 600 ouvriers en été, 8 à 900 en hiver, dont 200 condamnés civils et 100 condamnés militaires.

La production a été, en 1889, de 129 048 tonnes, valant 1 119 982 francs sur le carreau de la mine (à 8,67).

La presque totalité du minerai est exportée en Amérique, le frêt étant de 12 fr. 50 de Bône à Philadelphie, le prix d'entrée de 2 francs. Les navires qui ont porté le minerai en Amérique reviennent avec des produits américains à Londres et, de là, avec des charbons anglais en Italie, d'où ils passent souvent à vide à Bône.

Bibliographie.

1842. Berthier. — Sur la pyroxénite de Bône. (*Ann. d. M.*, 4e, t. II, p. 493.)
1848. Benoist. — Sur les mines de fer oxydulé des environs de Bône et Philippeville. (*B. S. G.*, 2e, t. V, p. 186.)
1849. H. Fournel. — Richesse minérale de l'Algérie.
1854. Coquand. — (*Mém. Soc. géol.*, 2e, t. V.)
1875. Rocour. — Notes sur le gis. et l'expl. du minerai de fer de Mokta-el-Hadid. (*Cuyper*, t. XXXVIII, p. 205.)
1881. Tissot. — Description géologique de la province de Constantine.
4 juin 1883. Parran. — Sur les terrains de gneiss des environs de Bône (Algérie). (*B. S. G.*, 3e, t. XI, p. 503.)
1884. Czyszkowski, B. Soc. Ind. Min., p. 282.
1888. Davies, p. 261.
1890. Friedel. — Journal de voyage manuscrit à l'Ecole des Mines, n° 894.
1891. L. de Launay. — Notes de voyage inédites.

A l'extrémité du lac Fezzara, au voisinage de Mokta, se trouve un autre gisement analogue, celui de *Medja Rassoul*.

En plan, c'est une lentille placée transversalement au milieu de calcaires, eux-mêmes intercalés dans les micaschistes grenatifères. Sa longueur est d'environ 120 mètres, sa largeur et son épaisseur de 29 mètres. A l'intérieur, se trouvent un certain nombre de filets schisteux et quelques blocs irréguliers de calcaire intercalé.

FER DE SAN-THIAGO (PRÈS CASA-BRANCA)

(PROVINCE D'ALEMTEJO, PORTUGAL)

(Amas d'oligiste et de magnétite en relation avec des calcaires du terrain primitif.)

Les mines de fer de San-Thiago se trouvent à 90 kilomètres de la rade de Lisbonne et à environ 4 kilomètres de la station de Casa-Branca, dans l'Alemtejo.

Les gisements sont situés presque au contact du grand massif granitique d'Evora et du terrain de gneiss et schistes primitifs. Ils sont formés d'un certain nombre d'amas lenticulaires, alignés

ivant une direction N. 50° O. et placés légèrement en retrait
uns par rapport aux autres. On les a parfois considérés comme
ant un caractère filonien et, dès lors, on a expliqué la présence
cette série de bandes stériles par un système de cassures
nsversales. Ils nous semblent, d'après les descriptions, très ana-
ues, aux gîtes de Mokta et de Suède. Le remplissage est formé
entiellement par du peroxyde de fer un peu manganésé, tantôt
stallin ou même cristallisé (fer oligiste), tantôt compact avec
e texture légèrement vitreuse. Ce peroxyde contient un peu de
titané (1,30 environ d'acide titanique); on n'y rencontre que
traces très faibles de soufre et de phosphore. L'action sur
guille aimantée est assez forte.

La gangue du minerai est quartzeuse et calcaire, le calcaire parais-
it faire partie intégrante du gisement comme en Suède et en Algé-
. Le quartz est tantôt à l'état libre, tantôt combiné en silicates.
outre, on trouve des lits plus ou moins minces de chlorite.

Les principaux amas sont ceux de Serinha et Nogueirinha.

Vers 1877, on a commencé à les exploiter avec une certaine
ivité ; mais, en profondeur, les amas métallifères se sont rapi-
nent coincés, et le minerai a disparu dans la masse calcaire
c cristaux d'oligiste, de grenat et de magnétite, comme c'est
ivent le cas pour les gisements du même genre.

Bibliographie.

376. Bartissol. — Rapport sur les gisements de minerai de fer magnétique San-Thiago; chez Lallemant frères. Lisbonne.
er mai 1878. — Notice sur les mines de fer de San Thiago.
379. — The San-Thiago... (Rapport du conseil d'administration.)
379. Fuchs. — Rapport manuscrit.

Pour terminer ce qui est relatif au terrain primitif, nous nous
itenterons de mentionner quelques gîtes, qui ont été décrits
nme situés dans le même étage, mais sur lesquels nous man-
ons de renseignements pour pouvoir affirmer leur allure réel-
ient stratiforme.

A *Ehrenfriedersdorf*, en Saxe, le micaschiste contient des veines
ices de fer oxydulé, grenat et amphibole.

Dans l'*Ardèche*, il existe, à la Valmy et à Saint-Roman, du fer carbonaté dans les micaschistes ; à la Valmy, la puissance du minerai est de 7m,50 à l'affleurement ; à Saint-Roman, elle est de 2m,50 [1].

FER CAMBRIEN

Le cambrien ne renferme que fort peu de gisements de fer. Nous citerons seulement, dans les couches à faune primordiale des Asturies, un amas de fer. Peut-être également faut-il rattacher à ce niveau les itacolumites ou quartzites micacés du Brésil [2], qui contiennent des enclaves fréquentes de fer oligiste schisteux et d'itabirite (variété d'oligiste), où l'on exploite des veines d'or natif. Mais ces enclaves ferrugineuses résultent très probablement d'une altération de pyrites, altération ayant produit la concentration de l'or primitivement disséminé [3].

FER SILURIEN

Le silurien, au contraire, contient d'assez nombreuses couches de fer. Tandis que les mers cambriennes devaient être d'allure instable et troublées par des réactions chimiques violentes, à l'époque silurienne, la division en bassins commence à se dessiner et, par suite, on peut s'attendre à trouver, sur les côtes, des dépôts de fer empruntés aux roches du rivage, dépôts ayant été soumis, depuis lors, à un métamorphisme plus ou moins intense. Nous rattacherons à ce niveau les minerais de Segré (Maine-et-Loire), Diélette dans la Manche, Saint-Rémy (Calvados), Krivoïrog en Russie, Nucic en Bohême, Etat de New-York aux Etats-Unis, Saint-Léon en Sardaigne, Viverro et Villa Canâs en Espagne, etc.

[1] Peyre. — (*Ind. min.*, 1884, t. XIII, p. 14.)

[2] Considérés également parfois comme huroniens. (Voir p. 24.)

[3] 1884. P. de Oliveira. — Estudos siderurgicos na Provincia de *Minas Geraes*. (*Annaes da Escola de minas de Ouro Preto*, 1884, p. 135. Rio-de-Janeiro.)

Ces minerais, suivant le degré de métamorphisme subi par le terrain encaissant, peuvent se présenter à l'état d'hématite rouge oolithique assez phosphoreuse et parfois fossilifère, analogue en un mot à des minerais plus récents, comme c'est le cas à Nucic en Bohême, dans l'Etat de New-York aux Etats-Unis, etc., ou, au contraire, avoir été transformés en oligiste et partiellement en fer oxydulé, souvent avec accompagnement de couches grenatifères comme à Diélette et à Saint-Léon (en grande partie aussi à Krivoïrog ou subsiste portant un peu d'hématite brune avec l'oligiste). La gangue est presque toujours quartzeuse.

Le caractère commun de ces gîtes est de comprendre plusieurs couches parallèles de minerai interstratifiées au milieu de schistes ou de quartzites, couches généralement très redressées comme le sont les terrains encaissants eux-mêmes et ressemblant par conséquent, au point de vue de l'exploitation, à de véritables filons. Tant à cause de leur forme originellement lenticulaire qu'en raison des bouleversements et rejets subis, ces gîtes sont, le plus souvent, assez vite limités en profondeur.

A leur suite, nous citerons un gîte où l'hématite brune paraît interstratifiée, non plus dans des schistes, mais dans des calcaires, celui de la Grande Vallée dans les Alleghany.

FER DE SEGRÉ (MAINE-ET-LOIRE[1])

(*Couches d'oligiste et magnétite dans les quartzites siluriens.*)

Le silurien de la région de Segré renferme un certain nombre de couches de minerai de fer qui ont été, de la part de M. Davy, ingénieur civil des mines, l'objet d'une étude détaillée. Les terrains qui couvrent le pays ont participé au glissement général qui a aligné, par zones à 130°, tous les étages anciens de Bretagne. C'est ainsi qu'entre Château-Gontier et Angers on trouve, avec quelques rares représentants du dévonien (Château-Gontier, Thorigné, Erbray), un certain nombre de bandes étroites du terrain silurien composées, de haut en bas, de schistes ardoisiers, de

[1] Notes de voyage de l'auteur en 1892.

quartzites à bilobites représentant les grès armoricains et de termes inférieurs du silurien : schistes satinés gris ou jaunes avec grès minces.

C'est uniquement dans le niveau des quartzites que se trouvent les lits de minerai de fer (fig. 118), considérés autrefois comme des accidents locaux d'origine filonienne et dont une étude plus approfondie paraît avoir bien montré l'interstratification dans le silurien.

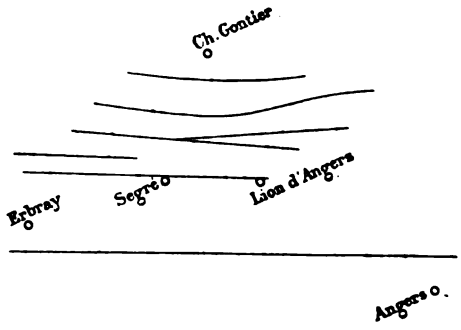


Fig. 118. — Carte des couches ferrifères de la région de Segré.

Ces lits de minerai de fer sont jalonnés par d'anciennes fouilles et des dépôts de scories rattachés à l'époque gauloise. Les grès qui les contiennent sont des roches dures à grain fin, occupant ordinairement le sommet des coteaux et contenant des tigellites, des bilobites et quelques lingules.

Ils forment, entre Château-Gontier et Angers, six bandes bien distinctes dont la principale va du Lion d'Angers à Segré et Pouancé, et contient, elle-même, un assez grand nombre de veines de fer.

Le minerai se compose de fer oxydulé très dur ou de fer oligiste, le fer oxydulé tendant à prédominer en profondeur. Son analyse donne :

Silice	Acide titanique	Alumine	Peroxyde de fer	Chaux	Magnésie	Acide phosphorique	Perte à la calcination.
15,09	0,407	2,084	76,91	0,591	0,096	0,483	1,307

A la surface du sol, ces gisements, surtout ceux de fer oxydulé, sont généralement accompagnés d'un épanchement hydroxydé qui, pendant longtemps, a été seul connu et exploité. On peut admettre que le fer oxydulé a commencé par devenir plus tendre, se suroxyder, passer à l'état d'oligiste, puis s'hydrater, former des géodes. On observe alors, sur les affleurements, un terrain rouge disposé suivant une bande parallèle à la stratification et, dans ce

terrain, des fragments de fer oxydulé souvent entourés d'une double enveloppe, l'intérieure en oligiste, l'extérieure hydratée, des débris de géodes ayant parfois un noyau d'argile blanche ou jaune, etc.

En dehors de ces minerais, il existe encore dans la Mayenne, l'Ille-et-Vilaine, les Côtes-du-Nord, la Loire-Inférieure, un certain nombre de *dépôts superficiels de fer*, en couches de peu d'étendue, ou en rognons dans les dépressions du terrain silurien. Les couches sont ordinairement formées d'hématite jaune, schisteuse, peu riche. Les rognons, à surfaces polies et arrondies, ont une plus grande teneur en fer; leurs dimensions varient entre celle de la tête et celle d'un pois. Tous sont un peu phosphoreux et produisaient autrefois des fers cassants, mais faciles à souder, que l'on traitait dans une foule de petites forges peu à peu disparues. Le plus important de ces gisements est celui de *Rougé*, dans la Loire-Inférieure, à 10 kilomètres au Nord de Châteaubriant : gisement repris en 1883, exploité depuis lors avec une activité croissante et produisant environ 50 000 tonnes.

A Rougé, on a affaire à des poches comparables aux poches sidérolithiques dont nous parlerons plus loin [1], de un ou plusieurs hectares de superficie et, au plus, 6 à 7 mètres de profondeur. Ces poches, encaissées dans des terrains divers, présentent, à la base, une couche d'argile blanche surmontée par du minerai compact, passant parfois à un poudingue ferrifère où sont englobés des fragments de roches du pays ; au-dessus, on a des blocs de 1 ou 2 mètres dans l'argile rouge et, plus haut encore, des blocs de plus en plus disséminés. Le tout est recouvert par des sables miocènes où M. Davy a rencontré des fossiles. Il est probable que le minerai vient d'une redissolution superficielle des couches siluriennes ; mais il ne serait pas impossible aussi qu'il y eût là un phénomène en relation avec la venue sidérolithique générale.

Quant aux gisements primitifs, ils ont été l'objet, entre 1874 et 1875, d'un certain nombre de concessions (du Bois, de l'Oudon, des Aulnais, de la Ferrière, de la Jaille-Yvon et de Marigné). En

[1] Page 797.

outre, c'est surtout pour l'utilisation de ces minerais que s'était fondée, en 1879, la société des mines de fer de l'Anjou et des forges de Saint-Nazaire. Cette société transportait les minerais à Saint-Nazaire et les fondait avec addition de minerais calcaires de Bilbao [1]. En 1882, les deux seules mines en activité ont produit 14 291 tonnes de fer oxydulé valant alors 8 fr. 55 ; en 1883, 6 280 tonnes ; depuis ce moment, ces mines ont cessé d'être exploitées jusqu'en 1891 où l'on a repris la concession de l'Oudon, pour le compte de la Société des forges de Trignac. Les travaux de l'Oudon portent sur une couche de 7 mètres d'épaisseur séparée par deux nefs de grès et recoupée par un filon de diorite.

Bibliographie.

1796. Renou. — Essai sur l'histoire naturelle du département de Maine-et-Loire.

1840. Le Chatelier. — Analyse d'un minerai de Segré. (*Ann. d. M.*, 3e série, t. XVIII, p. 507.)

1842. Le Chatelier. — Statistique du département de Maine-et-Loire.

1845. Cacarrié. — Description géologique du département de Maine-et-Loire.

1854. Millet. — Paléontologie du Maine-et-Loire.

1875. Lorieux. — Résumé des ressources minéralogiques du département de la Loire-Inférieure.

* 1880. Davy. — Not. géol. sur l'arrondissement de Segré et sur les minerais de fer de ce pays. (*Bull. ind. min.*, 2e, t. IX.)

1881. Dauton. — Note sur la géologie et les minerais de fer de l'*Anjou*. (*Bull. Soc. Ind. min.*, 2e série, t. X, n° 3, p. 597. Saint-Étienne, 1881.)

1892. L. de Launay. — Notes de voyage inédites.

FER DE DIÉLETTE (MANCHE [2])

(Couches d'oligiste et magnétite dans des terrains métamorphisés par le granite, probablement siluriens.)

Le département de la Manche renferme un certain nombre de gisements de minerai de fer dans le silurien : Bourberouge,

[1] Voir page 790.

[2] Notes de voyage de l'auteur en 1890. Coll. Ecole des Mines, 1918.

Sausseménil, Bricquebec, etc... L'exploitation de Diélette, seule en activité aujourd'hui, semble porter sur des couches du même âge, ayant subi l'action métamorphique du granite voisin de Flamanville.

Cependant cette origine métamorphique des roches de Diélette ayant été méconnue à diverses reprises et les terrains qui encaissent le minerai décrits comme des gneiss, hälleflinta, etc., semblables à ceux de Suède[1], il est nécessaire d'entrer dans quelques détails.

Le massif granitique de Flamanville (fig. 119) qui forme, vers

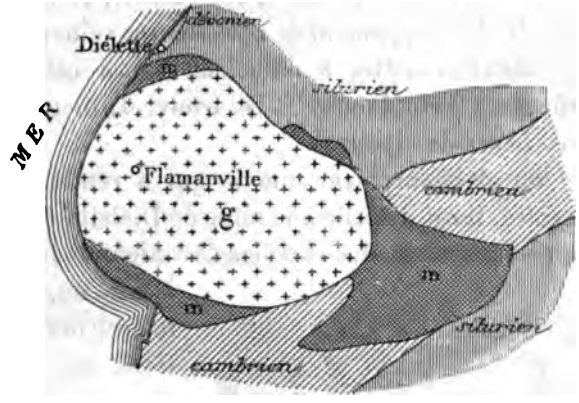


Fig. 119. — Carte géologique de la région de Diélette.
(*g*, granite. — *m*, zone métamorphique)

l'extrémité N.-O. du Cotentin, un îlot isolé de 7 kilomètres, de l'E. à l'O. et 5 du N. au S., recoupe des terrains allant du cambrien au dévonien inférieur, en leur faisant subir, à son contact, les transformations qui ont été étudiées en Alsace par M. Rosenbusch, en Suède par M. Brögger, dans le Plateau Central par M. Michel Lévy, en Bretagne par M. Barrois[2].

La présence du granite en filons dans les phyllades est très nette aux Pieux, comme l'a montré M. Bigot[3], et comme nous avons pu le constater en divers points de la côte. On en retrouve également des filons dans les schistes à calymènes et même,

[1] Voir la notice de M. Maurice sur Dielette, 1889.
[2] (*Ann. Soc. géol. Nord*, t. XI, 1884, p. 103.)
[3] Thèse sur l'archéen et le cambrien... p 117.

comme M. Bigot l'a signalé, dans les grès et schistes dévoniens à Pleurodictyum Problematicum qui affleurent un peu au Nord de Diélette sur la plage et forment là une zone étroite, parallèle aux grands plissements de cette région, c'est-à-dire N.-E.-S.-O. A une certaine distance du granite, on voit apparaître, dans les schistes, de petites taches noires qui sont des pseudomâcles de chiastolithe; plus près, les schistes se chargent de mica; plus près encore, ils se feldspathisent et prennent l'aspect de gneiss, en même temps que les grès passent à des cornéennes spéciales qu'on a qualifiées d'hälleflinta, de leptynites, etc. Auprès de Diélette et, en particulier, au Nord de la mine, sur la côte, cette action s'est accompagnée du développement de nombreuses veines grenatifères qui correspondent peut-être à d'anciens bancs calcaires ayant subi des influences ferrugineuses [1]. On trouve d'ailleurs également de véritables bancs de cipolins.

Par suite du métamorphisme même qui a rendu les terrains méconnaissables, il est difficile à la mine de Diélette de dire si l'on a affaire au prolongement des couches dévoniennes fossilifères de la baie ou, comme nous le croirions plus volontiers, au terrain silurien.

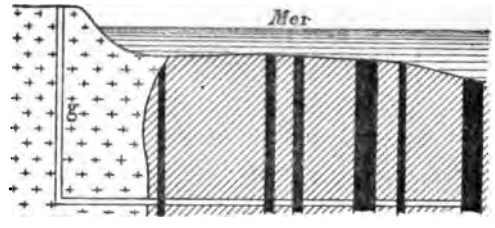


Fig. 120. — Coupe transversale du gîte de Diélette. *g*. granite.— Couches de minerai dans le terrain métamorphique.

Quoi qu'il en soit, le minerai de fer se présente sous la forme de six couches interstratifiées verticales (fig. 120), dont 3 seulement affleurent sur la plage à marée basse et dont les autres n'ont été reconnues que par les travaux menés en galerie sous la mer. On exploite principalement la quatrième et la sixième couche.

Le minerai de Diélette est un mélange cristallin de magnétite et d'oligiste rappelant tout à fait, par son aspect, les minerais de

[1] On pourrait, à la rigueur, considérer également le minerai comme formé par des injections ferrugineuses datant de l'époque même du métamorphisme ; nous croyons plutôt que ce métamorphisme a eu pour effet de faire cristalliser en oligiste et magnétite des couches sédimentaires préexistantes.

Suède et attirable à l'aimant. Il n'a pas d'autre gangue que des lamelles de chlorite et de calcite qui établissent parfois des divisions prismatiques dans la roche et en facilitent l'abatage. Quelques filets de pyrite et de calcite recoupent à la fois le minerai et les roches encaissantes. Enfin, on a rencontré, dans la masse, du grenat, de l'amphibole, de la pistazite et des traces d'or. L'analyse moyenne donne :

Fer.	Manganèse.	Phosphore.	Silice.
57,36	0,071	0,240	11,87

Des filons de porphyre traversent nettement les strates.

L'extraction s'est développée dans ces dernières années, comme le montrent les chiffres suivants :

1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889	1890
2 800 t.	13 000 t.	chômage	5 000 t.	2 911 t.	22 000 t.	22 000 t.	19 000 t.	51 359 t.

La majeure partie de la production est expédiée en Westphalie.

Bibliographie.

BONISSENT. — Essai géologique sur le département de la Manche.

1874. VIEILLARD. — Le terrain houiller de la Basse-Normandie, ses ressources, son avenir.

1877. VILLENEUVE, FLAYOSK. — Minerais de fer de la Manche, de Serk et Guernesey. (*Eclaireur financier* du 25 mars 1877.)

* 1884. LECORNU. — Sur la métallurgie du fer en Basse-Normandie.

* 1889. G. MAURICE. — Notice sur Diélette. (Chez Pariset, 101, rue Richelieu), 1889.

* 1890. BIGOT. — Thèse sur l'archéen et le cambrien dans le Nord du massif breton.

1890. L. DE LAUNAY. — Notes de voyage inédites.

Voir la carte au $\frac{1}{80.000}$. Feuille des Pieux.

FER DE SAINT-RÉMY (CALVADOS)

(Couches d'hématite dans le silurien.)

Nous venons de décrire, dans le silurien français, deux gisements de fer de quelque importance : Segré et probablement Diélette. Il existe, en Normandie, au-dessous du niveau des schistes à calymènes et au-dessus du grès armoricain, une couche de minerai de

fer hydroxydé ayant rarement plus de 2 mètres d'épaisseur, qu'on a exploitée à Bourberouge près de Mortain, qu'on retrouve également en Bretagne : à l'état d'oligiste, hématite et limonite, à Sainte-Brigide près Salles en Morbihan; de magnétite à Salles et Quintus (Côtes-du-Nord); de carbonate de fer à la Chouanière.

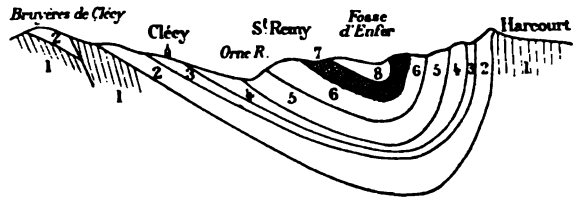


Fig. 121. — Coupe au $\frac{1}{80.000}$ du synclinal de Saint-Rémy, d'après M. Lecornu.

1, phyllades. — 2, conglomérats et grès pourprés. — 3, schistes et marbres. — 4, schistes et grès verts. — 5, schistes et grès feldspathiques. — 6, dalles à Cruziana. — 7, minerai de fer. — 8, schistes à Calymènes.

Le minerai de fer de *Saint-Rémy* (Calvados) appartient au même niveau, comme le montre une coupe mpruntée à M. Bigot[1] (fig. 121) qui montre, en outre, la discordance entre les phyllades et les conglomérats pourprés.

Les mines de Saint-Rémy, exploitées avec une assez grande activité, ont produit, en 1888 : 33 500 tonnes d'hématite rouge à 5 fr. 60, utilisées dans le Nord, en Allemagne et en Amérique ; en 1890, 58 777 t. valant 255 483 fr.

Ces minerais de Saint-Rémy ont l'inconvénient d'être sensiblement phosphoreux; ils sont, en outre, siliceux et alumineux dépourvus de calcaire et de manganèse, en sorte qu'on ne les passe au haut fourneau qu'à l'état de mélange.

FER DE KRIVOÏ ROG (RUSSIE)

(*Couches d'oligiste et magnétite intercalées dans le silurien.*)

Le bourg de Krivoï Rog se trouve sur la frontière des provinces d'Ekaterinoslaw et de Kherson, au confluent des rivières

[1] Thèse, p. 25.

la Saxagane et l'Ingouletz (ce dernier affluent du Dnieper)[1] et

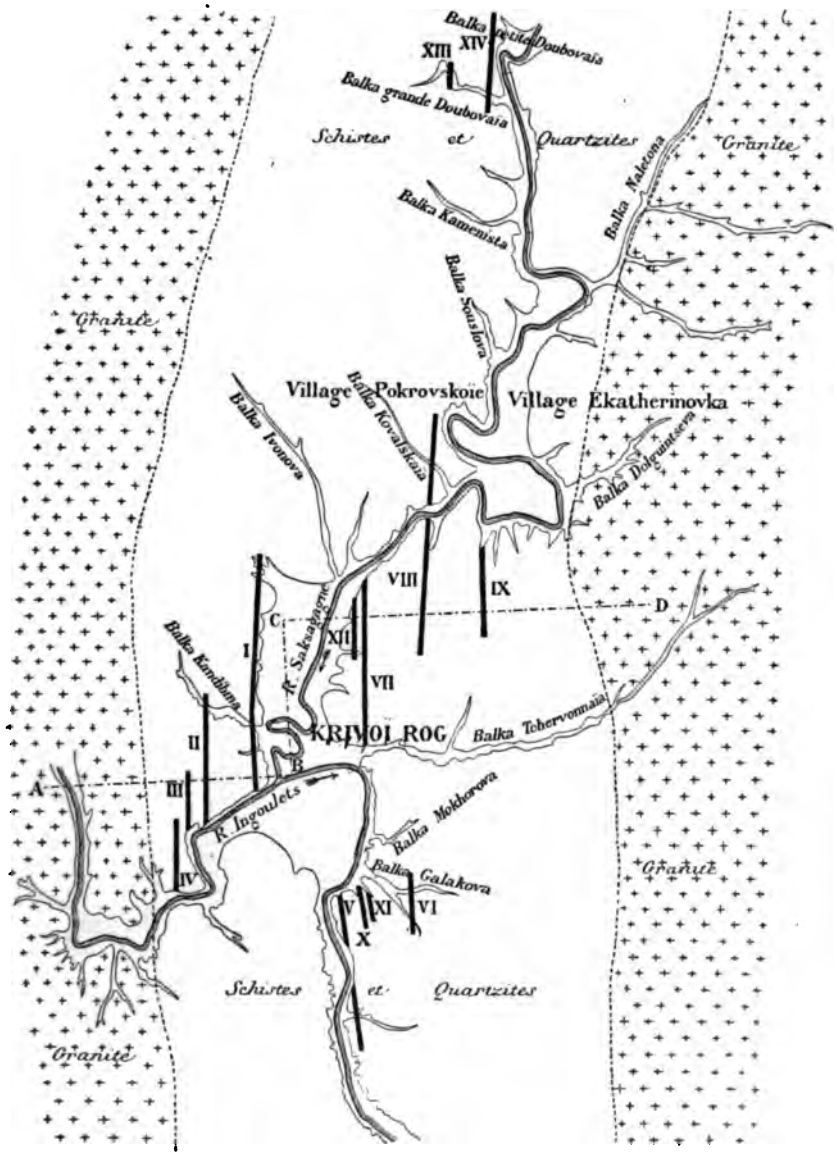


Fig. 122. — Carte des gisements de minerai de fer de Krivoï Rog.

forme le centre d'une région de mines de fer qui prennent de plus en plus d'importance.

[1] Voir la carte de Russie, fig. 59, p. 383.

Les environs, comme du reste tout ce pays, forment une steppe parfaitement unie, déboisée et dont l'uniformité n'est interrompue que par de larges et profonds ravins où affleurent les couches du minerai de fer, reconnues dès le siècle dernier (Potemkine projetait d'y fonder des usines), mais en réalité restées inexploitées jusqu'en 1881.

Le Sud de la Russie, d'Odessa à Kharkow, est formé par des roches granitiques ou syénitiques que recouvrent, en général, soit des argiles et sables limoneux du loess avec dents de mammouth, soit des calcaires tendres avec débris de coquilles appartenant aux couches sarmatiques.

A Krivoï Rog, des schistes et quartzites rattachés au silurien remplissent, dans le granite, une grande cuvette de 8 kilomètres de large sur 30 kilomètres de long. La direction générale des schistes, parallèle à l'allongement du bassin est N.-S. (fig. 122); ils forment, dans l'ensemble, un pli synclinal avec un certain nombre d'accidents locaux, de contournements et même de renversements.

Ces couches renferment des amas interstratifiés de minerais de fer, fer oligiste schistoïde, hématite rouge et brune et surtout fer oxydulé magnétique, au contact desquels les quartzites sont souvent fortement colorés par le fer et en renferment jusqu'à 15 p. 100.

Une coupe transversale de la concession française Saxagane donne :

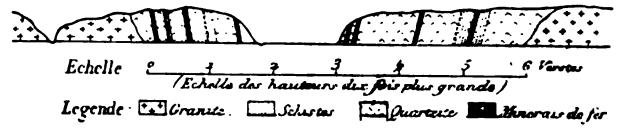


Fig. 123. — Coupe transversale suivant la ligne ABCD.

On voit qu'il s'y présente quatre couches dont trois principales, ou plutôt quatre lentilles, car ces couches sont limitées en direction; la plus large a 60 mètres d'épaisseur et les deux autres 20 mètres. Le plus remarquable affleurement de fer oligiste du bassin se trouve sur les bords de l'Ingouletz, vis-à-vis du moulin de M. Helmersen; il forme un rocher escarpé de 36 mètres d'élévation et de plusieurs centaines de mètres de longueur.

Les travaux ne sont pas encore assez profonds pour éclairer sur l'allure complète du gîte; on doit donc prévoir que ces amas, comme d'autres semblables, peuvent se réduire en profondeur; mais néanmoins l'importance des affleurements permet de compter sur un cube de minerai très considérable.

Nature des minerais. — Le minerai de fer de Krivoï Rog se présente sous plusieurs formes distinctes; il est tantôt, à l'état de magnétite, tantôt à l'état de fer oligiste en paillettes ou d'hématite rouge en roche, tantôt enfin à l'état d'hématite brune. Sur la concession Saxagane, le minerai est presque exclusivement du fer oligiste d'une teneur à peu près théorique et passant par places à la limonite. La gangue est essentiellement quartzeuse, la silice ayant une importance maxima quand le fer se présente en paillettes de fer oligiste; quelquefois même alors, le minerai ne constitue plus qu'une simple imprégnation des quartzites. Le phosphore et le soufre sont en traces insignifiantes dans les minerais anhydres. Les minerais hydratés contiennent seuls parfois un millième de phosphore.

Les analyses ont donné :

Fer	67,42	65,83	59,09
Silice	2,13	3,26	11,62
Alumine	1,34	2,84	3,71
Soufre	0,018	0,015	0,014
Phosphore	0,033	0,030	0,038

Ces minerais ont un rendement pratique de 55 p. 100.

Leur exploitation s'est faite, jusqu'ici, à ciel ouvert et par gradins droits, le travail ayant lieu l'hiver par des paysans qui, l'été, s'occupent de leur culture. L'abatage a lieu à la poudre et 100 ouvriers produisent 200 tonnes.

En 1885, l'exploitation de la Compagnie française, portant sur une seule grande lentille de 60 mètres de largeur maxima, a produit 30 000 tonnes. On avait, en outre, reconnu, à ce moment, 8 à 9 autres lentilles intactes sur la concession de cette société : sur les bords de l'Ingouletz, dans les ravins de Tchernaia, Morohava, Galadova, Kan di Crina, Laubovaia, etc. Le bassin entier, en cette même année, produisait 112 000 tonnes. En 1889, on est arrivé, pour

la Russie méridionale, à 140 000 tonnes de fonte, 24 000 tonnes de fer et 60 000 tonnes d'acier. Depuis, l'industrie s'est encore développée ; de nombreuses sociétés ont acquis des concessions, et une grande partie des minerais est maintenant traitée sur place dans les hauts fourneaux construits par la société Cockerill, par la Société Française, etc.; le reste est brouetté sur des planches en bois jusqu'à la gare de Krivoï Rog, contiguë à l'exploitation. Un embranchement de 10 kilomètres conduit de Krivoï Rog à Sakragrane sur la ligne de Dalinskaia à Jacinovatea. Les minerais vont, sur cette ligne, jusqu'à Inzovo (413 kilomètres), d'où un chemin de fer particulier de 10 kilomètres les mène à l'usine de traitement (Hughes).

Un autre gisement analogue se trouve dans la même région, dans le district de Berdiansk (gouvernement de Tauride), près de *Korsake-Moguila*. Là aussi, au milieu de quartzites et schistes cristallins, une couche de fer magnétique de 42 mètres de puissance a été explorée sur une longueur de 213 mètres, avec une inclinaison de 60 degrés.

Le grand intérêt économique de ces gisements est leur situation à proximité des immenses bassins houillers du Donetz, qui peut permettre à la Russie de développer son industrie du fer, et de se passer des minerais de Suède et d'Angleterre qu'elle était forcée de consommer jusqu'à ces dernières années.

Bibliographie.

1839. Koulchine. — Étude géologique sur la province de Kherson. (*Journal des mines*, t. I, p. 29.)

1869. Barbotte de Marny. — Aperçu géologique de la province de Kherson, pages 93, 96 et 140.

1873. Strippelmann. — Süd Russlands Magneteisen und Eisenglanzlagerstätte (Leipzig).

1876. Nouveaux gisements de minerai de fer dans le Sud de la Russie. (*Cuyper*, t. XXXIX, p. 213.)

1877. Nossolf. — Des gisements de fer magnétique dans la Russie méridionale (Taganrog).

1878. Richesses minérales de la Russie d'Europe, p. 23.

1878. Kontkiewitch. — Rapport adressé au département des mines sur les mines de Krivoïrog.

1884. Cszyskowski, Bul. Soc. Ind. Min., t. XIII, p. 292.

1887. Coste. — Journal de voyage manuscrit à l'Ecole des Mines.

FER SILURIEN DE BOHÊME (NUCIC)

A l'Ouest de Prague, la région moyenne du silurien comprend, dans les assises inférieures de l'étage D de Barande, plusieurs couches régulières de minerai de fer, dont l'une de 6 à 20 mètres d'épaisseur, présentant une inclinaison variable de 35 à 60° et reconnue sur plus de 15 kilomètres de long. Les minerais sont situés dans les couches dites de Komorau, formées de schistes

Fig. 124. — Coupe des gisements de fer de Bohême.

a, grauwacke de Przibram. — *b*, couches de Krusznahora. — *c*, couches de Komorau. — *d*, couches de Rokyca. — *e*, couches de Brda. — *f*, minerai de fer.

bariolés et de schalstein (ou tufs de diabase) et participent à toutes leurs inflexions (fig. 124). Ils consistent en grains de structure oolithique dans une pâte également ferrugineuse, et présentent la plus grande analogie avec le minerai connu sous le nom de chamoisite. La teneur en fer varie entre 47 et 58 p. 100 ; l'acide phosphorique oscille entre 1,35 et 2,40 p. 100 ; la silice, entre 8 et 10 p. 100. La principale exploitation est située à *Nucic* (Société métallurgique de Prague) et a donné 46 000 tonnes en 1882. Une autre exploitation, appartenant à la Société métallurgique de Bohême, a fourni, en 1882, 47 000 tonnes. En 1890, la Bohême a produit 401 325 tonnes de minerai à 3 fr. 50 en moyenne et 159 700 tonnes de fonte. Ces minerais sont passés, en général, au procédé Thomas.

Bibliographie.

1863. Lipold. — (*Jahrb. der K. K. geol. Reichsanst. in Wien*, p. 339.)
1881. V. Groddeck, p. 116.
1884. Czyrkowski, Bul. Soc. Ind. Min., t. XIII, p. 299.
1884. Besson. — Note sur l'état actuel de la métal. du fer en Autriche-Hongrie. (*Mém. Soc. Ing. Civ.*, févr. 1884.)

FER SILURIEN DE SAINT-LÉON (SARDAIGNE)[1]

En Sardaigne, entre l'étang de Cagliari et la mer, affleurent des schistes considérés par M. Lotti comme siluriens et fréquemment grenatifères qui contiennent du fer oxydulé. Le fer, d'après M. Dumas, formerait une seule couche dont la coupe serait la suivante dans les concessions de Saint-Léon et Mirragu.

Cette couche est constamment recouverte par un banc de grenats confusément stratifié et mêlé de filets de fer oxydulé ayant jusqu'à 4 mètres d'épaisseur. Quelques auteurs, se fondant sur la présence au voisinage de grands filons de quartz de la fin du permien, ont cru devoir, à tort semble-t-il, considérer ces gisements comme filoniens.

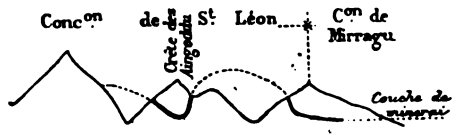


Fig. 125. — Coupe du gisement de fer de Saint-Léon, en Sardaigne.

Le minerai est exclusivement du fer oxydulé magnétique d'un brun luisant. M. Dumas n'y a pas trouvé trace de pyrite ni de sulfate de baryte. La seule matière étrangère est le quartz qui forme, dans le minerai, de petites couches de 1 à 2 centimètres, très régulièrement parallèles à la stratification.

On distingue trois classes de minerais : la première tenant 65 p. 100 de fer; la deuxième, 50 à 60 p. 100; la troisième, 40 à 45 p. 100. Cette dernière, très grenatifère, est située surtout au toit.

L'exploitation de ce gisement a été organisée en 1862 par la Société Française Petin-Gaudet; en 1865-66, il a produit 13 810 tonnes. Nous ne le voyons pas figurer sur la statistique de 1889.

[1] 1884. Cszyskowski p. 301 ; cf. un rapport de M. Dumas, 1864.

FER DE VILLA-CAÑAS (ANDALOUSIE)[1]

Il existe en Espagne, dans l'Andalousie, un certain nombre d'amas disséminés dans les roches siluriennes, amas assez analogues à ceux de Krivoï Rog, mais, en général, extrêmement limités et, malgré leur pureté, paraissant, pour le moment, inutilisables. Nous nous bornerons à quelques renseignements géologiques sur le plus intéressant, celui de Villa-Cañas, visité en 1872 par M. Fuchs.

Le village de Villa-Cañas est bâti sur un vaste plateau de tuf tertiaire entrecoupé de lagunes dont la plus importante fournit de la soude et du salpêtre.

Ce plateau est limité, au Nord, par une série de collines formées par des quartzites siluriens, tantôt blancs, tantôt rosés, ayant une direction générale à 150°. Au milieu de ces quartzites, apparaissent quelques amas d'hématite rouge avec une gangue de quartz grenu irrégulièrement disséminé. Ce quartz est parfois assez abondant sur les bords pour former une sorte de brèche dont l'oxyde de fer serait le ciment. Au centre, on trouve des blocs d'hématite pure. Mais ces amas, essentiellement restreints, ne forment qu'un accident local.

A *Viverro*, en Espagne, M. Cszyskowski a étudié également[2] des minerais analogues qu'il considère, aussi bien que les fers de Segré, Saint-Léon, etc., comme formant une couche interstratifiée et contemporaine du dépôt.

FER DE LA GRANDE VALLÉE (ALLEGHANY)[3]

(*Hématite brune, en amas dans des calcaires.*)

On exploite, dans la *Grande Vallée*, sur le versant oriental des Alleghany, beaucoup d'amas d'hématite brune à géodes tapissées

[1] 1872. FUCHS. — Notes de voyage inédites.
1884. HOCK. — Mines de fer de l'Espagne. (*Cuyper*, t. V, p. 150.)
[2] *Loc. cit.*, p. 309.
[3] 1876. WEDDING. — (*Zeits f. d. B. H. u. S. W. im. pr. St.*, t. XXIV, p. 336 et 366.)
1881. V. GRODDECK, p. 345.

de pyrolusite dans des calcaires appartenant au groupe canadien, surtout près de leur contact avec les schistes. Les principales mines se trouvent dans la vallée de Lehig, en Pensylvanie et à Chatanvoga, dans le Tennesee. Il nous paraît assez douteux qu'il s'agisse réellement là de couches sédimentaires, et le doute existe pour la plupart des gîtes que V. Groddeck rapproche de celui-ci comme types d'hématite dans des calcaires. On a, soit affaire à des veines bien nettement filoniennes, comme à l'Iberg et au Winterberg, près de Grund, dans l'Oberharz, soit à des résultats d'actions secondaires comme cela paraît être le cas, d'après Runge, en Silésie [1].

Au contraire, on connaît, dans le silurien de l'Amérique du Nord, groupe de Clinton, une couche extrêmement étendue, régulière et vraiment sédimentaire d'hématite rouge oolithique, riche en fossiles, qu'on trouve dans l'Etat de New-York, la Pensylvanie et sur le bord Ouest du lac Michigan et qui n'est néanmoins l'objet d'aucune grande exploitation [2].

FER DÉVONIEN

Les gisements de fer dévoniens sont d'assez peu d'importance, quoique le famennien renferme parfois des couches d'oligiste. Nous rattacherons à cet étage les grands gisements de fer spathique de l'*Erzberg styrien;* mais là, nous n'avons plus affaire à une couche proprement dite : le gisement, dont l'origine sédimentaire est loin d'être démontrée [3], est encaissé, non plus dans des roches inattaquables comme des schistes ou des quartzites, mais dans des calcaires qui ont subi une imprégnation ferrugineuse irrégulière. Il s'est produit là, soit par un phénomène de remise en mouvement dû aux eaux superficielles, soit (en admettant une origine

[1] Voir aussi plus loin, p. 767, le gîte de Stahlberg (permien).

[2] Wedding. — (*Zeitsch. f. d. Berg. f. H. u. s. in preussischens Staat.*, 1876, t. VI, p. 346.) Voir également V. Groddeck, p. 116.

[3] Nous le décrirons avec les gîtes sédimentaires pour nous conformer à l'opinion des géologues allemands qui l'ont spécialement étudié. D'ailleurs, comme nous l'avons dit plus haut, les discussions théoriques auxquelles tous les gîtes de substitution dans les calcaires continuent à donner lieu, nous les ont fait, d'une façon générale, classer avec les gîtes stratiformes.

filonienne) par la venue métallisante elle-même, une attaque des calcaires et une substitution progressive analogue à celle que nous avons étudiée pour des filons comme ceux de Rancié ou de la province d'Almeria.

Les mêmes phénomènes de substitution ont joué un rôle dans la formation des *hématites rouges du Harz* (*Elbingerode*) *et des Provinces Rhénanes* que nous étudierons ensuite.

ERZBERG DE STYRIE ET DE CARINTHIE[1]

La région métallifère de Styrie et de Carinthie comprend trois zones distinctes :

1° L'*Erzberg styrien* de Eisenerz, au centre d'une ligne de gisements à peu près parallèle aux Alpes centrales, qui apparaît vers Schwaz en Tyrol, traverse le Salzburg, la haute Styrie et se prolonge jusqu'au delà du Sommering sur une longueur de plus de 300 kilomètres ;

2° L'*Erzberg carinthien* de Hüttenberg, parallèle au premier, comprenant surtout les gîtes d'Olsa, à l'Est de Friesach, de Hüttenberg et de Lolling ;

3° Plus au Sud, dans la Carniole, la ligne de gisements de Janerburg et Selenitza.

Dans toute cette région, le minerai de fer se présente avec des caractères comparables, à l'état de lentilles de sidérose dans des masses calcaires, intercalées elles-mêmes au milieu de schistes. On retrouve, comme à Rancié, une certaine concordance entre l'allure des amas et la stratification des couches, concordance très approximative qui n'empêche pas l'existence de nombreuses veines, surtout au mur ; la présence de serrées et d'irrégularités nombreuses ; la disposition déchiquetée des lentilles. En général, il y a passage du minerai proprement dit au calcaire stérile par un calcaire plus ou moins ferrugineux dit rohwand[2], puis par un calcaire devenu simplement cristallin et saccharoïde.

[1] Coll. *Ecole des Mines*, 1919.

[2] Voir plus loin, p. 748.

Dans l'Erzberg styrien, le calcaire où sont les minerais est intercalé entre les grauwackes dévoniennes et les schistes de Werfen permiens. Il est donc, au moins, dévonien.

L'Erzberg de Styrie, qui constitue la principale masse exploitée, a la forme d'un cône à angle aigu arrondi dans sa partie supérieure. Libre de trois côtés, il se rattache au Sud, à la montagne de Reichenstein. Il y a là un gisement de fer considérable qui n'est, en réalité, d'après les géologues allemands, qu'un enrichissement extraordinaire d'une couche dont on suit les affleurements sur plusieurs kilomètres de long.

Fig. 126. — Carte géologique de la région d'Eisenerz.

1, néogène. — 2, rhétien. — 3, couches d'Hallstatt. — 4, couches de werfen. — 5, schistes de la grauwacke. — 7, calcaire de la grauwacke.

En cet endroit, on trouve, au flanc de la montagne : d'abord, en bas, la grauwacke ; puis le calcaire passant insensiblement au minerai de fer et, sur près de 700 mètres de haut, le minerai pur, commençant à la base par un minerai un peu spécial et fortement siliceux, le minerai de Soberhaggen.

Fig. 127. — Coupe verticale de la vallée d'Eisenerz.

On appelle *rohwand* une zone, souvent épaisse, de calcaire ferrifère, entourant généralement le minerai et qui présente toutes les compositions, depuis le fer spathique jusqu'au calcaire proprement dit, mais est trop pauvre en fer pour être exploitable. Cette rohwand ne se trouve pas seulement aux épontes, mais aussi en zones dans la masse même du gisement.

La teneur en fer du minerai cru est, en moyenne, de 40 p. 100; après grillage, de 50 p. 100.

Dans les gisements les plus importants, le minerai est très pur et ne renferme qu'assez rarement des mouches de pyrite de fer ou de cuivre. Au contraire, les gîtes secondaires contiennent toujours une proportion assez forte de sulfures dont il y aurait lieu de tenir

compte si on voulait discuter le mode de formation des gîtes.

Le phosphore existe dans tous ces minerais spathiques, mais en quantités extrêmement faibles, à peine 0,01 p. 100.

V. Groddeck, qui classe les calcaires où se trouve le fer dans le silurien, admet que ces amas se sont formés dans les mêmes conditions que des couches sédimentaires étendues, lorsque ces conditions étaient limitées à des espaces restreints à l'époque du dépôt du terrain où on les rencontre. Ce sont, pour lui, des précipitations de solutions aqueuses de carbonates, ces carbonates provenant eux-mêmes de silicates des roches dissous par l'eau et l'acide carbonique.

La mine d'Eisenerz a été exploitée longtemps par galeries, par une foule de petits propriétaires dont les hauts fourneaux s'alignaient dans la vallée de Vordernberg. Lors de notre visite en 1883, toute l'exploitation de Vordernberg était centralisée et se faisait à peu près complètement par un grand découvert de 100 mètres de haut, composé lui-même de 3 horizons divisés en gradins de 6 mètres. Le découvert d'Eisenerz, situé au dessous, se composait de 19 horizons de 15 à 20 mètres. Il y avait, en outre, une exploitation souterraine.

En 1890, la Styrie a produit 792 319 tonnes de minerai à 4 fr. 90 et 146 389 tonnes de fonte ; la Carinthie : 100 000 tonnes de minerai à 8,20 et 47 394 tonnes de fonte.

Bibliographie.

1876. Grüner. — Sur la métallurgie du fer en Styrie et Carinthie. (*Ann. d. M.*, 7e, t. IX.)
1881. V. Groddeck, p. 172 et 425.
1883. L. de Launay. — Notes de voyage inédites.
1884. Cszyskowski, B. Soc. Ind. Min., p. 318.

FER DE ELBINGERODE (HARZ)

(*Amas d'hématite rouge dans le calcaire.*)

Les actions de substitution, qui restent douteuses pour les mines de l'Erzberg, paraissent, au contraire, d'après von Groddeck, devoir

être invoquées pour les amas d'hématite rouge intercalés dans le calcaire à stringocéphales (dévonien moyen) du bassin du Rhin et du Harz, amas où l'on trouve, comme en Cumberland[1], les fossiles caractéristiques du niveau transformés en minerai de fer. Il est possible que des diabases, toujours fréquentes au voisinage des amas, aient joué un rôle dans la venue ferrugineuse.

Dans le bassin d'Elbingerode, les principaux amas sont ceux de *Büchenberg* et de *Tännichen*. Le premier a 30 mètres de puissance et est exploité sur 4 000 mètres de longueur; il est interstratifié entre des schalsteins (tufs de diabases) et des phyllades. Il est formé surtout d'hématite rouge; accessoirement de sphérosidérite. Dans l'amas de Tännichen, qui forme un fond de bateau plat de 260 mètres de largeur et est entièrement intercalé dans le schalstein, le minerai, très riche en fossiles, est essentiellement carbonaté.

Dans les Provinces Rhénanes, des gisements analogues et du même âge se trouvent à *Brilon*, *Wetzlar*, *Weilburg*, *Dillenburg*.

Bibliographie.

Hauchecorne. — (*Zeitschr. f. d. Berg. H. u. S. im preus. St.*, t. XVI. p. 199.)

1860. Stein. — (*Zeitschr. d. d. geol. Gesellschaft*, 1860, t. XII, p. 208.)

1866. Le filon de minerai de fer de *Horhausen* (Prusse Rhénane) et sa formation par voie humide. (*Cuyper*, t. IX, p. 153.)

1881. V. Groddeck, p. 118.

FER DU CARBONIFÈRE ET DU HOUILLER

La présence de minerais de fer dans les terrains carbonifère et houiller a nécessairement attiré beaucoup l'attention. Le terrain houiller étant généralement exploré très en détail pour d'autres causes, on arrivait forcément à rencontrer ces gisements, et leur situation se trouvait absolument privilégiée par ce fait que le fer

[1] Voir plus loin, p. 752.

était là à proximité immédiate de la houille destinée à l'élaborer. Ces minerais se présentent sous plusieurs formes bien distinctes : soit en amas dans le calcaire carbonifère, attribuables peut-être à des phénomènes de substitution (Cumberland, Lancashire), soit en bancs interstratifiés, d'épaisseur plus ou moins régulière, (Westphalie, etc.) ; soit, ce qui est le cas beaucoup plus fréquent, en lentilles isolées de sphérosidérite couchées dans le plan de stratification des schistes (Silésie, Gard, Aveyron, etc.).

Ces dépôts, lorsqu'ils sont vraiment sédimentaires, contiennent presque toujours une proportion assez forte de carbonate de fer, dont nous essayerons tout à l'heure d'expliquer la formation ; ils sont souvent mêlés de houille qui leur donne une couleur noire, et parfois même l'aspect d'un schiste charbonneux (*kohleneisenstein de Westphalie, blackband d'Angleterre*). Lorsqu'ils sont en noyaux, on trouve fréquemment, au centre du noyau (à Saarbrück par exemple), quelque reste de plante, de poisson (amblypterus) ou de saurien (archægosaurus).

Dans la plupart des cas, on les a décrits [1] comme des formations sédimentaires de dépôt contemporain à celui de la houille et comme des dépôts d'eau douce, les fossiles qu'on y rencontre (en Westphalie par exemple) étant d'eau douce.

La précipitation en carbonate semble prouver l'existence d'un milieu réducteur (concordant, d'autre part, avec la formation de la houille) et probablement l'intervention des gaz carburés résultant de la décomposition simultanée des végétaux.

Au point de vue industriel, quelques-unes de ces couches de minerai de fer carbonifères ou houillères ont, pour les raisons exposées plus haut, constitué une richesse énorme : par exemple, les hématites du Cumberland, les blackband d'Écosse et du Staffordshire, les kohleneisenstein de la Westphalie ; les minerais de Silésie ont également donné lieu à une exploitation restreinte ; au contraire, les lentilles de sphérosidérite qu'on avait rencontrées et concédées dans un grand nombre de mines de houille françaises ont rarement pu être extraites avec bénéfice.

[1] Voir Cotta, p. 121.

FER DU CUMBERLAND (ANGLETERRE)[1]

(*Amas d'hématite dans le calcaire carbonifère.*)

Les gisements de fer du Cumberland ont une grande importance industrielle et un réel intérêt géologique. Dans la production de minerais de fer anglaise qui est, nous l'avons dit, après celle des États-Unis, la plus importante du monde, ils entrent pour un chiffre considérable, plus d'un million de tonnes par an. Très recherchés un moment à cause de leur richesse (50 à 60 p. 100 de fer métallique), de leur pureté et de la rareté des minerais comparables, ils ont eu, pendant une quinzaine d'années, à la suite de la découverte du procédé Bessemer, une vogue considérable. C'est alors qu'on a vu Barrow in Furness, centre de l'industrie de l'acier dans cette région, décupler sa population de 1857 à 1874. Depuis cette époque, l'irrégularité très grande des gîtes a forcé à ralentir la production, et une nouvelle révolution métallurgique, produite par la déphosphoration, a quelque peu déprécié ces minerais riches et purs, mais assez coûteux. Géologiquement, les principaux minerais du Cumberland, ceux intercalés dans le calcaire carbonifère, ont été souvent décrits comme des couches interstratifiées et accompagnées de sécrétions de fer provenant de ces gisements et recristallisées dans des fentes. Cette hypothèse s'appuie sur ce fait que les amas et couches se trouvent, pour la plupart, dans le calcaire carbonifère. Néanmoins, M. Fuchs considérait plutôt les fentes comme des fractures filoniennes ayant produit, dans les couches voisines, des épanchements latéraux à allure interstratifiée, et nous rattacherons ces gisements, d'après lui, à la catégorie des gîtes de substitution.

Nous dirons d'ailleurs, à cette occasion, quelques mots des minerais de fer d'âges divers qu'on rencontre dans le comté de Cumberland.

[1] Coll. *École des Mines* 1920. — Voir la carte géologique d'Angleterre, fig. 70, p. 488.

Géologie de la région. — Le comté de Cumberland, situé au Nord-Ouest de l'Angleterre, sur la côte de la mer d'Irlande, en face de l'île de Man, comprend les terrains suivants :

Permien (grès de Saint-Bees, calcaire magnésien) ;

Houiller (grès de Millston) ;

Calcaire carbonifère (gisements de fer) ;

Terrain ancien (grès de Coniston, calcaire de Coniston), et schistes anciens ;

Granite recoupant les schistes.

Ces différents terrains renferment tous de l'hématite en rognons ou en fragments susceptibles d'un beau poli, et présentant une structure fibreuse et radiée caractéristique. Mais les seuls gisements importants sont dans le calcaire carbonifère.

Un plissement post-silurien (Nord 65° Est à Sud 65° Ouest) a soulevé et disloqué les diverses couches.

I. — Gisements dans le granite. — Le seul gîte exploité est, à *Eskdale*, sous forme de veines disséminées dans la masse et présentant, au maximum, 6 mètres de puissance.

On exploite à 5 niveaux différents, dont le plus élevé est à une profondeur de 45 mètres. Le granite, qui forme les épontes, paraît décomposé et renferme, avec des rognons d'hématite, du quartz et de l'oxyde de manganèse.

II. — Gisements dans les schistes anciens. — Ce terrain, constitué par des schistes bleuâtres ou pourprés avec grès intercalés, renferme de nombreux gîtes d'hématite dont un seul, celui de *Kelton fell et de Knockmurton* est exploité. L'hématite se présente en amas discontinus au nombre de 7, inclinés de 45 à 60°, amas dont la puissance totale maxima est de 102 mètres. Quelques-uns de ces gîtes ont été explorés sur une longueur de 600 mètres. L'exploitation se fait par galeries.

Voici l'analyse du minerai :

Fe^2O^3	SiO^3	HO, CO^2	CaO et Al^2O^3	Teneur en fer
89,21	7,07	2,53	1,19	62,45 p. 100.

III. — Gisements dans les calcaires anciens. — Ces couches

appartiennent à la série de Coniston qui affleure dans le comté de Furness, au Sud du Cumberland. Cette série est formée de *grès*, de *calcaires* et de *schistes;* mais ce sont les calcaires qui apparaissent dans le Cumberland.

Les principaux gîtes sont ceux de ***Millon*** et de ***Water-Blean.*** Le minerai forme de grands amas dans le calcaire, amas dirigés du N-E au S-O. Il renferme très peu de calcite et de quartz, et, est, en général, assez tendre et de couleur rouge éclatante à la surface; en profondeur, il est compact et bleuâtre. Voici la composition de cette variété :

Fe^2O^3	FeO	SiO^2	Al^2O^3	CaO	HO,CO^2	Teneur en fer
65,31	7,60	7,96	7,93	1,62	9,50	51,63

Le minerai, qui n'est pas toujours nettement séparé de la roche, nécessite un triage. On aurait trouvé, d'après les exploitants, des empreintes de Lepidodendron et de Stigmaria, de 5 mètres de longueur, dans la partie tendre de la masse.

IV. — Gisements dans le calcaire carbonifère. — Ce terrain est le plus important de la région pour les minerais de fer, qui forment les trois grands districts de Whitehaven (2 000 hectares), Furness (6 000 hectares) et Millom (400 hectares). Il est constitué par une série de niveaux calcaires, surmontés par un grès houiller, le *Millstone grit.* Son mur est formé généralement par une couche mince siliceuse, appelée *Whirlstone.*

Le minerai se présente en amas, situés, soit au toit, soit au mur du calcaire.

Le *premier cas* (amas au toit du calcaire) se présente pour les gîtes de *Parkside, Crossgill et High House Mine,* qui sont dirigés N-S. Le mur calcaire du gîte forme des selles souvent accentuées, entre lesquelles le minerai atteint parfois une puissance de 13 mètres.

Le *second cas* est celui du grand gîte de *Bigrigg* où c'est le toit calcaire qui présente de nombreuses selles; ce gîte est connu sur 300 mètres de longueur, 200 mètres de largeur et 40 mètres de puissance moyenne.

L'*amas de Hod-Barrow* est peut-être le plus vaste; il est reconnu

sur 720 mètres de longueur et 150 mètres de largeur; sa puissance moyenne est de 15 mètres et peut atteindre 30 mètres. Son minerai est formé d'hématite massive. Il repose sur le calcaire.

Citons encore *Montréal :* 200 mètres sur 170 mètres et 15 mètres de puissance.

Nous donnerons plus loin quelques détails sur ces gisements.

Voici diverses analyses du minerai du calcaire carbonifère qui est massif et dont la couleur varie du rouge brun au bleu grisâtre.

	PARKSIDE	SALTER HALL MINE	YEAT HOUSE MINE
Fe^2O^3	98,26	86,37	86,33
SiO^2	1,59	9,56	9,73
Al^2O^3	»	1,21	traces
CaO, MgO	»	2,57	»
CO^2	»	»	0,90
HO, résidu insoluble	»	»	3,94
Phosphate de fer	0,30	»	»
TOTAL	100,00	99,71	101,00
Teneur en fer	68,78 %	60,45 %	60,43 %

Le minerai, au contact du calcaire, est, en général, mal séparé, tandis qu'il se distingue nettement si ses épontes sont formées de grès ou de schistes. Souvent aussi, le minerai est poreux aux épontes et, quelquefois même, il passe à une argile ocreuse de 0m,60 à 1 mètre d'épaisseur. Les dépôts contiennent, presque toujours, des fragments détachés des parois.

Comme association, on trouve, avec l'hématite, du quartz, de la calcite, de la dolomie, de la pyrolusite, de la sidérose.

Les géodes formées par l'hématite renferment aussi de la gœthite et de la hausmannite.

V. — Houiller supérieur. — Un seul dépôt a été constaté à Millyeat, il n'est pas exploité. Le minerai est en couches de peu d'épaisseur avec des argiles. Sa qualité est très variable.

Géogénie des gisements du Cumberland. — Le professeur Binney attribue aux hématites du Cumberland une origine interne. D'après

lui, elles auraient été remaniées et enfin accumulées par les érosions dans leurs gîtes actuels.

M. Fuchs considérait ces gîtes comme résultant nettement d'une *substitution*, de la dissolution d'une couche calcaire par une source minérale acide. A l'intérieur du gisement de fer, on a retrouvé des fossiles du calcaire carbonifère, transformés en hématite (Productus, etc.)[1]. On peut admettre que les sources, s'élevant par des fissures, sont venues s'arrêter à la couche imperméable de milstone grit et se sont épanchées au-dessous. Dans le calcaire, elles ont formé des poches plus ou moins fortes, analogues à celles de galène ou de calamine que le Cumberland même contient en abondance. Cet épanchement ferrugineux serait alors antérieur au permien dont les couches, quoique perméables, ne sont pas imprégnées dans la région.

D'autre part, on s'est appuyé, comme nous l'avons dit, sur l'allure en couches des gisements principaux et leur présence, en divers points, dans le même étage du calcaire carbonifère pour soutenir leur origine sédimentaire.

Nous passons à la description de trois des principaux gîtes : Parkside, New-Parkside et Hod Barrow.

GITE DE PARKSIDE PRÈS FRIZINGTON

Le *district de Whitehaven* comprend les dépôts exploités aux environs de Parkside (schistes supérieurs) et ceux de Montréal, Cronfield et Cleator (calcaires inférieurs).

La mine de Parkside, que nous allons étudier, est située à une distance de 10 kilomètres du port de Whitehaven, chef-lieu du Cumberland ; le gisement principal se trouve dans le calcaire carbonifère. C'est en 1854, que l'on en a commencé l'exploitation.

Géologie. — La coupe ci-jointe (fig. 128) indique les formations recoupées :

[1] La présence de fossiles dans le fer carbonaté est fréquente ; celui du houiller renferme souvent des plantes houillères et des coquilles d'eau douce (anthracines); celui

1° au sommet, une couche de terrains de transport et d'*argile à blocaux* (Bounder-Clay, 15 à 20 mètres) ;

2° une épaisseur de 140 mètres environ de *Millstone grit* ou *grès houiller inférieur*, lequel est très régulier dans toute la région ;

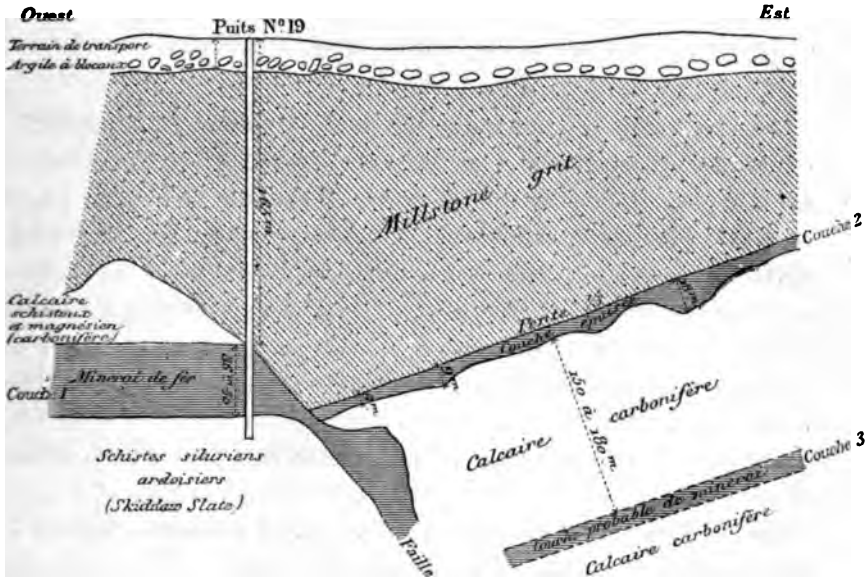


Fig. 128. — Coupe verticale de la mine de Parkside près Frizington (Cumberland).

3° le *calcaire carbonifère*, non encore traversé dans son épaisseur normale ;

4° le *skiddaw slate* ou schiste ardoisier silurien.

La couche de minerai de fer la plus importante, la seule exploitée maintenant (36^{m},50 de puissance) est sensiblement horizontale et située au mur du calcaire carbonifère. Elle est surmontée par un calcaire argileux et schisteux, renfermant souvent du fer et dont on la sépare difficilement.

La première couche découverte (couche 2), actuellement complètement enlevée, était située au toit du calcaire carbonifère, où elle formait des poches très irrégulières ayant jusqu'à 18 mètres

du permien inférieur de Lebach, près Saarbruck, des Archegosaurus, Amblypterus, Walchia ; les rognons du jurassique moyen de Haute-Silésie, des Amm Parckinsoni ; ceux du tertiaire de Brambach dans le Devon, des coquilles marines, etc. (Groddeck, p. 111.)

de puissance. Son toit, très uniforme, était constitué par le Mills-tone-grit parfaitement résistant et imperméable, contre lequel elle venait s'épanouir. Son inclinaison très forte (18°) facilitait d'ailleurs l'écoulement des eaux.

Outre ces deux couches de minerai, il en existe d'autres intercalées dans le calcaire carbonifère, mais de moindre importance.

Description de la grande couche. — La grande couche, exploitée depuis quelques années, a, en moyenne, de 36 à 37 mètres de puissance; son toit calcaire est irrégulier, fortement chargé de silice, d'argile et de talc. Au reste, la couche entière est elle-même divisée en bancs par des niveaux calcaires et schisteux. Des veines argileuses, renfermant des minéraux magnésiens, talqueux ou stéatiteux, la traversent fréquemment; elles paraissent constituer un réseau irrégulier dont la composition se rapproche de celle des schistes anciens, assez magnésiens, du mur.

Le *minerai de fer* appartient à la classe des *Blue Pourpre Ore*. Il est très compact, mais toujours de texture globulaire et concrétionnée. C'est une hématite rouge et bleue très pure, tenant en moyenne 56 p. 100 de fer, sans trace de soufre ni de phosphore.

Il est souvent parsemé de géodes où l'on constate du quartz, du fer oligiste, de la calcite, de la dolomie (dont la magnésie se rapporte évidemment aux schistes du mur) et rarement de la gœthite.

En général, le minerai est assez pur pour être vendu sans subir aucun triage. Il est très dur.

L'avancement des travaux a permis de reconnaître que la grande couche, d'abord horizontale, s'infléchit vers la faille dont elle suit le plongement. Elle paraît même augmenter de puissance, et les ingénieurs croient qu'elle va rejoindre une couche inférieure dont on suppose l'existence au mur du calcaire carbonifère.

GITE DE NEW-PARKSIDE

Cette seconde concession, située à quelques kilomètres de la précédente, a été plus récemment exploitée. Un sondage heureux

a recoupé la couche à 190 mètres environ. La succession des terrains est la même, avec cette différence que le permien apparaît

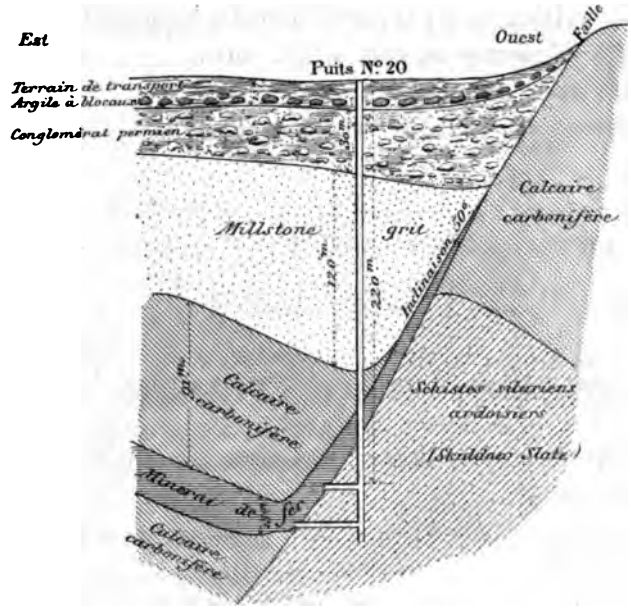


Fig. 129. — Coupe verticale E.-O de la mine de New-Parkside près Frizington (Cumberland).

sous la forme qu'il revêt dans la région, celle d'un conglomérat siliceux et argileux rouge.

La couche, de 13 mètres de puissance, vient s'amincir et se terminer dans la faille.

La production des mines de Parkside est de 200 à 220 000 tonnes par an.

GITE DE HOD BARROW

Cet amas, le plus considérable de la région, est situé entièrement dans le calcaire carbonifère, surmonté dans cette région par le conglomérat permien et les terrains de transport.

La mine est placée au bord de la mer, la couche plongeant vers la mer très régulièrement. L'exploitation n'en est pas poursuivie au delà d'une limite fixée, le domaine public s'étendant au delà.

De nombreuses failles, accompagnées de rejets de quelques mètres,

sillonnent la couche. Ces failles, inclinées en général de 50°, sont remplies d'argiles schisteuses foncées, vertes ou noires, et le minerai, au voisinage, est traversé de petits lits argileux. La pyrite se montre fréquemment près de ces failles.

La *puissance* de la couche est de 22 mètres.

La *production* est de 400 000 tonnes par an.

GITES DU COMTÉ DE FURNESS (LANCASHIRE)

(*Veines et amas d'hématite dans le calcaire carbonifère.*)

Les gisements de Furness, analogues à ceux du Cumberland, présentent cette particularité de s'étendre jusqu'au terrain d'alluvion qui recouvre le calcaire carbonifère ; leur tête a été enlevée par dénudation.

Le comté de Furness, ou West-Lancashire, est situé au N.-O. de l'Angleterre, au Sud du Cumberland.

La composition de son sol ne diffère pas essentiellement de celle du Cumberland, et c'est encore le calcaire carbonifère qui fournit les gisements de fer les plus abondants.

Le calcaire carbonifère a une puissance de 300 mètres ; il renferme des schistes interstratifiés. Le fer se trouve : soit en filons; soit en amas elliptiques, de direction généralement perpendiculaire à celle des strates.

Voici les gîtes les plus importants en *veines :*

Lindal Moor. — Longueur, 1 000 mètres ; veine dirigée N. 25° O.

Il a été exploité jusqu'à 140 mètres de profondeur environ. Le minerai se sépare facilement de la roche encaissante du mur, mais difficilement au toit. Il existe de grandes failles au mur.

Stank. — Gîte en veines, N. 25° O. Faille au Toit.

Longueur, 600 mètres ; profondeur, 30 mètres ; largeur, 20 mètres.

Les dépôts de Stank et de Stainton sont situés à la partie inférieure du calcaire ; celui de Lindal à la partie supérieure. En général, ces dépôts sont à l'Est du district et des failles, qui sont N.-S. ; le plongement y est S.-E., tandis que celui des amas du Cumberland est Ouest.

Quant aux *amas* les plus importants, ce sont ceux de *Park* et de *Roanhead*.

Park. — Direction Est-Ouest. Longueur, 360 mètres ; largeur, 250 mètres ; puissance moyenne, 20 mètres. Exploité jusqu'à 150 mètres.

A *Roanhead*, l'amas s'étend de l'Est à l'Ouest sur 360 mètres et a été reconnu jusqu'à 80 mètres de profondeur.

Citons encore, comme gîtes en amas : Mounsell, Crossgate, Lindal Cole.

En général, tous ces amas se perdent en profondeur.

Nature des minerais de Furness. — Les hématites de Furness renferment souvent, soit du sable blanc ou rouge intercalé, soit des argiles rouges appelées « hunger ».

On peut faire trois classes dans les minerais :

1° *Minerais durs ou compacts* (Blue pourpre ore). — Dépôts de Lindal Moor, Stank, Askam.

La composition est la suivante :

	N° 1	N° 2	N° 3
Fe^2O^3	78,61	83,00	94,23
MnO	0,24	»	0,23
SiO^2	16,45	15,50	4,90
Al^2O^3	1,87	»	0,63
CaO	0,56	traces	0,05
MgO	0,24	»	traces
PhO^5	0,03	»	traces
SO^3,HO	0,04	»	0,09
HO	2,02	1,50	0,56
TOTAL	100,00	100,00	100,00
Teneur en fer	55,03 %	58,10 %	65,98 %

Ces minerais sont vacuolaires et les cavités renfermant de la calcite et du quartz représentent un sixième du volume du minerai.

2° *Minerais rouge sombre* (Dull ruddish purple ore).

C'est un mélange du minerai dur avec un minerai tendre rouge brique qui se délite à l'air. On le trouve à Stank et Crossgate.

La composition, après calcination à 100°, est :

	N° 1	N° 2
Fe^2O^3	74,24	86,50
MnO	0,11	0,21
SiO^2	0,09	»
Al^2O^3	0,24	»
CaO	6,00	2,77
MgO	0,41	1,46
CO^2	4,19	2,96
PhO^5	»	traces
SO^3	»	0,11
Résidu insoluble	9,07	0,55
HO	2.82	»
TOTAL	100,00	100,00
Teneur en fer	54,06 %	60,55 %

Il renferme de nombreux fossiles transformés en hématite et appartenant au calcaire.

3° *Minerais tendres.*

Ils forment presque tous les gites en amas sous forme de rognons d'une couleur brune ou rouge et renferment assez souvent des matières argileuses.

Voici leur composition :

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4
Fe^2O^3	60.61	69,81	75.35	84.47
MnO	2,22	1,12	1.49	0,22
SiO^2	21,93	15,38	7.27	6,95
Al^2O^3	»	»	2,10	»
CaO	0.39	0,21	0,28	0.25
MgO	0.56	0.70	0,64	0.41
SO^3, HO	»	»	»	»
PhO^5	0,03	0,02	0,03	0,03
$HO.CO^2$	15,50	13.54	12.54	8,48
TOTAL	100,00	100.00	100,00	100,00
Teneur en fer	42,43 %	48,81 %	52,75 %	59,13 %

Bibliographie.

1839. Dufrénoy et Élie de Beaumont. — Voyage métallurgique en Angleterre, t. II.

1849. Tooke. — Topographie minérale de l'Angleterre dans le *Mining Almanak*, p. 241.

1861. V. Cotta. — (*Erzlagerstätten*, p. 502.)

1862. Jordan. — Fabrication des fontes d'hématite dans le Nord Lancashire et le Cumberland. (*Rev. univ.*, t. XII, 1862, p. 217.)

1868. Jordan. — Revue de l'Exposition de Paris de 1867, t. III, p. 53.

1874. Wurzburger de Dalton in Furness. — Sur la géologie des districts sidérurgiques de la côte occidentale de l'Angleterre. (*Notices lues au meeting de l'Iron and Steel institut*, 1874.)

1874. Les gisements d'hématite rouge (Furness et Cumberland). (*Cuyper*, t. XXXVI, p. 321.)

1878. Kendall. — *Transactions of N. England institute.* Newcastle, p. 23, et (*Q. J. Geological Society*, n° 126.) — Iron ores of Great Britain. (*Publications of the geolog. survey.*)

1884. V. Groddeck. — Sur les gites de galène du Cumberland, pages 333 et 345.

* 1887. Daubrée. — Eaux souterraines aux époques anciennes, p. 93.

* 1888. Davies, p. 266.

SPHÉROSIDÉRITE HOUILLÈRE DE LA RUHR, DE SILÉSIE, DE FRANCE, etc.

(*Couches de carbonate de fer au milieu de schistes houillers.*)

Bassin de la Ruhr. — La formation houillère du bassin de la Ruhr, en Westphalie, renferme, en particulier dans les régions d'Essen, de Bochum et de Hörde, des dépôts interstratifiés dits de *kohleneisenstein* (minerai de fer du charbon), auxquels le black-band des anglais est assimilable. Ces dépôts sont formés d'un mélange intime de carbonate de fer, de houille et d'argile; leur structure schisteuse et leur couleur noire les avaient fait longtemps prendre pour des schistes houillers; la forte proportion de phosphore qu'ils contiennent par endroits nuit d'ailleurs souvent à leur qualité.

A *Hörde*, on connaît 6 ou 8 couches, dont quelques-unes ont localement près de 2m,70 d'épaisseur. La coupe est :

Minerai de fer, banc supérieur	1,60
Schistes argileux avec veine de fer	1,30
Minerai de fer, banc inférieur	0,90
Fer	1,50
Schistes	0,40
Fer.	0,12
Fer.	0,30

A *Kirchhörde*, il existe une couche de 0m,60 de puissance, ayant une inclinaison de 60 à 70°, qui se trouve au toit de la couche de houille la plus profonde. Ce minerai a l'inconvénient d'être pyriteux et phosphoreux.

A *Bochum*, on connaît, depuis 1834, une couche de 0m,40 à 0m,50 qui, vers l'Ouest, passe à une couche de houille.

En outre de ces bancs compacts, on rencontre, dans les schistes houillers de cette région, de nombreuses concrétions en forme d'amandes de sphérosidérite ; on en a cité une à Bochum qui avait 2m,50.

Dans tous ces cas, on a affaire à du carbonate de fer déposé, non plus au milieu de calcaires, plus ou moins ferrugineux au contact, comme dans le Cumberland, mais entre des schistes argileux, c'est-à-dire à une couche dont l'origine sédimentaire n'est pas douteuse. Nous allons d'ailleurs citer d'assez nombreux exemples de couches de fer situées dans les mêmes conditions.

La Westphalie a produit, en 1890, dans les trois districts de Münster, Minden et Arnsberg, 1 118 827 tonnes de minerai valant 11 876 000 francs[1].

Bibliographie du fer de Wesphalie.

1851. Carnall. — (*Zeitschr. der deutsch. geol. Gesellsch.*, t. III, p. 3.)

1852. *Berg. u. H. Zeit.*, p. 74.)

1852. Herold. — (*Verhandl d. naturhist Ver. d. preuss. Rheinland*, t. II, p. 606.)

[1] Voir p. 612.

1852. SCHNABEL. — (Analyses) (*Poggend Annal.*, t. LXXX, p. 441, et *Leonh. Jahrb.*, p. 72.)
1852. NÖGGERATH. — (*Jahrb. d. geol. Reichsanst.*, p. 133.)
1859. LOTTNER. — (*Geogn. Skizze des westphal. Steinkohlengebirges*, p. 114.)
1861. V. COTTA, p. 120.
1881. V. GRODDECK, p. 110.

Saarbrück[1]. — Dans le bassin de Saarbrück, le fer se présente en véritable sphérosidérite brunâtre renfermant des restes de fossiles. Ces noyaux, par exemple à *Lehrbach* et à *Börschweiler*, forment des couches relativement continues.

Silésie[2]. — Les minerais de fer exploités en haute Silésie appartiennent à des formations géologiques très variées ; nous les étudierons plus en détail, lorsque nous nous occuperons des fers triasiques ; ici, nous ne nous occuperons que des minerais houillers. Ces minerais houillers consistent principalement en limonite concrétionnée que les Allemands appellent *sphérosidérite*. Cette sphérosidérite se rencontre dans les couches argiloschisteuses de la partie supérieure du houiller, sous forme de masses lenticulaires pesant quelquefois plusieurs centaines de kilogrammes.

Les exploitations principales sont du côté de Kattowitz et Ruda où affleurent les couches supérieures de houille (Catharina et Georgine), du côté de Myslowitz et dans la région de Dubensko, Orzesze et Ornontowitz. L'extraction est d'environ 10 000 tonnes par an. La teneur de ce minerai s'élève jusqu'à 40 p. 100 de fer. On a cru constater qu'il se rencontrait surtout au-dessus des gouttières formées par les couches de houille, c'est-à-dire là où ces couches sont les moins épaisses.

En outre de ces gisements de sphérosidérite, il existe, à *Nieder Radoschau*, des bancs d'hématite rouge tenant 63 p. 100 d'oxyde de fer, mais peu exploités à cause de leur éloignement des usines. Le plus épais de ces bancs, de $0^m,55$ de puissance, a pour mur le grès houiller et, pour toit, des schistes. Du côté du toit, la couche

[1] 1853. NÖGGERATH. — (*Rheinland Westphalen*, t. IV, p. 382.)
1861. COTTA, p. 121.
[2] Voir plus loin, p.768.

est constituée par une argile plastique ferrifère ; du côté du mur, elle se compose de lits successifs d'hématite rouge compacte séparés par des filets d'hématite spongieuse. Il est bien possible que cette hématite ne soit que l'altération d'une couche de carbonate.

Angleterre, Écosse, etc. — En Angleterre, en Ecosse, en Allemagne, en Belgique, le carbonate noir, ou ***blackband,*** peut être considéré comme un des éléments constituants du terrain houiller[1] ; il est assez abondant dans la Grande-Bretagne pour avoir pu former la base de la fabrication du fer dans les bassins houiller de l'Ecosse, du Pays de Galles et du Staffordshire.

France. — En France même, le carbonate se rencontre également dans le terrain houiller.

Dans le bassin de la Loire, le *fer carbonaté de la mine du Treuil* forme trois couches comprises entre deux couches de houille. Dans la couche supérieure, le minerai se présente en plaquettes, tandis que, dans les deux autres, il est en rognons irrégulièrement distribués, mais très riches. Ce minerai est dans un schiste argileux avec trace de galène, de blende et quelques cristaux de sulfate de baryte[2].

De même, dans l'*Aveyron*, le fer est disséminé dans les schistes qui avoisinent la houille, au-dessus de la grande couche de houille. A Tramont, il atteint une épaisseur de 1 à 4 mètres[3].

Dans le Gard, on trouve le gisement de *Palmesalade*.

Le minerai de Palmesalade a été exploité avec une assez grande activité jusqu'en 1872, et, par ses qualités particulières, a fait la réputation des fers marchands de l'usine de *Tamaris*. Depuis 1872, la mine a été noyée et abandonnée par la Compagnie des fonderies et forges d'Alais à laquelle elle appartenait.

Ce gisement est situé dans le terrain houiller, au mur de la couche de houille Sans Nom. Il comprend 9 couches, qui ne sont à proprement parler que des amas stratifiés d'une épaisseur

[1] Voir Groddeck, p. 112 et 406, Cszyskowski, p. 323.
[2] Cszyskowski, p. 325.
[3] Coquand. *Traité des roches.*

totale de 14 mètres. Il est composé de carbonate de fer spathique, assez différent des rognons de sphérosidérite et contenant, comme beaucoup de ces gisements carbonatés, galène, quartz, blende, cuivre gris, bournonite, etc. L'origine du minerai paraît pouvoir être attribuée à des eaux ayant tenu en dissolution du carbonate de fer, et sa localisation résulterait de ce qu'il se serait concentré dans des dépressions du sol de cette époque.

Bibliographie de Palmesalade.

Emilien Dumas. — Statistique géologique du Gard, 3e partie.
Sarran. — Sur Portes. (*B. Soc. Ind. Min.*, t. XIV.)
1884. Czyskowski. — (*B. Soc. Ind. Min.*, p. 325.) (Contient quatre coupes.)
* 1884. Peyre. — Sur le gisement de fer carbonaté de Palmesalade. (*B. Soc. Ind. Min.*, 2e, t. XIII, p. 5.) (Avec planches.)

FER DU PERMIEN

Dans le *permien*, où les actions chimiques ont joué un rôle si intense et où le fer, en particulier, colore en rouge tout un étage de grès, il est remarquable qu'il forme peu de concentrations à l'état exploitable, d'autant plus que nous connaissons en bien des régions, en France particulièrement, les faciès côtiers de cette époque[1].

On peut citer, dans le *bassin de la Sarre*, le minerai de fer de *Lebach*[1], qui consiste en quelques couches argileuses renfermant, sur environ 20 mètres d'épaisseur, des rognons de minerai de fer argileux. Il existe également, à *Osnabrück*, un puissant amas de fer spathique et d'hématite brune ayant 12 mètres d'épaisseur et situé dans le permien.

Dans le *Thüringerwald*, la dolomie permienne renferme des gîtes importants d'hématite brune dont le principal est exploité aux mines de *Stahlberg*, de Mommel, etc. ; mais ces amas semblent

[1] Nous avons vu que les dépôts ferrugineux étaient généralement littoraux, p. 696. Czyskowski, p. 322.

en relation avec des filons de sidérose. Au *Hüggel*, près d'Osnabrück, il paraît y avoir eu, dans une dolomie du zechstein, et à partir de ses fissures, substitution progressive de sidérose au calcaire; cette sidérose, qui a été postérieurement transformée en hématite brune, est accompagnée de beaucoup de barytine; au *Rochusberg*, près d'Ibbenbühren, un gîte analogue contient de la calamine et de la galène.

Ces deux gîtes de substitution peuvent être rapprochés de ceux de l'Ariège, du Cumberland, etc.[1].

Enfin, en Espagne, on exploite encore, autour de *Carthagène*, des gisements de fer importants associés avec des minerais de plomb et de zinc, que nous nous contenterons de citer ici en renvoyant, pour leur description, au chapitre du *Plomb*.

FER DU TRIAS

Le trias renferme quelques gisements de fer, notamment ceux de la haute Silésie et de l'Ardèche que nous allons décrire. Nous citerons, en outre, en Allemagne, dans le grès bigarré d'Aschaffenburg, des couches d'hématite brune de $0^m,30$ à $2^m,50$ de puissance, formées principalement de minerai homogène et compact[2].

FER TRIASIQUE DE SILÉSIE[3]

Le bassin de la haute Silésie, qui s'étend sur la Prusse, la Pologne russe et l'Autriche, est, à la fois, un centre important de production de houille, de fer, de plomb et de zinc. Pour le fer, voici quelques chiffres relatifs à la partie prussienne du bassin en 1882 :

[1] 1861 Cotta. — (*Erlagerstätten*, t. II, p. 79.)
1853. Castendyck. — (*Verh. d. n. Verh. d., preuss. Rheinl. u. Westf*, 1853, p. 140.)
1881. V. Groddeck, p. 346.

[2] 1861. Stein B. u. H. Z., p. 177. — 1881, v. Groddeck, p. 19.

[3] *Notes de voyage de* 1892. Voir une étude plus complète de la région au chapitre du *Zinc*.

MINERAI	CIRCONSCRIPTIONS (Kreise)	NOMBRE des Mines	PRODUCTION en tonnes de minerais	VALEUR de la tonne	VALEUR totale	NOMBRE d'ouvriers
Muschelkalk.	Tarnowitz	11	566 008	4,00	2 267 262	3 085[1]
	Beuthen	7	80 866	5,74	464 020	433
	Kattowitz.	4	67 009	4,25	284 633	322
						139
Houiller. . .	Kattowitz.	1	9 721	11,19	108 712	
	Zabrze	2	154	7,52	1 159	
	Pless.	2	225	9,89	2 225	

ın 1882, cette région comprenait 39 hauts fourneaux, produisant 000 tonnes de fonte. En 1892, le nombre des hauts fourneaux t réduit à 28. On peut citer, parmi les centres industriels : en sse, Königshütte, Tarnowitz, Gleiwitz, Zabrze, Kattowitz, lowitz[2]; en Russie, Dombrowa (Huta Bankowa); en Autriche, belles aciéries de Wittkowitz, près de Mährisch-Ostrau. Les ıes prussiennes consomment, en outre des minerais du pays, certaine proportion de minerais riches de Suède à 60 p. 100 fer et de pyrites grillées de Rio-Tinto (à 50 p. 100) dont on a ord extrait le cuivre à Swansea.

ıes principaux minerais de fer exploités sont dans le Muschel- ı inférieur; on en trouve, en outre, dans le houiller, dans le ıper, le jura brun et le tertiaire.

° Les *minerais du muschelkalk* (Tarnowitz, Beuthen, Gross ehlitz) se présentent à l'état d'amas irréguliers d'hématite ne impure (tenant souvent moins de 25 p. 100 de fer) dans les aires et dolomies.

ıeur étude met bien en évidence l'importance qu'ont, pour les s de fer, les remises en mouvement secondaires et superficielles t nous avons déjà décrit un exemple dans le Maine-et-Loire[3]. Il ıble, en effet, bien net que les amas exploités résultent d'une

[1] e nombre des ouvriers à Tarnowitz et à Beuthen comprend, en même temps, qui travaillent aux mines de zinc (production : 17 800 tonnes à Tarnowitz 0 à Beuthen).

[2] a société métallurgique la plus importante est la Königs und Laura Hütte Actien llschaft. L'Oberschlesische Eisen Industrie, qui a son centre à Tarnowitz, occupe à 3 000 ouvriers et produit 350 000 tonnes de minerai par an.

[3] age 733.

concentration des éléments ferrugineux d'abord disséminés dans une couche de dolomie du muschelkalk, qui est, en même temps, plombifère et zincifère[1]. Ils sont toujours localisés le long des affleurements de cette dolomie, superposée au wellenkalk et l'on peut observer, lorsqu'on s'enfonce dans la couche, l'existence d'une dolomie rouge, chargée de 10 à 15 p. 100 d'oxyde de fer avec du plomb et du zinc, qui, peu à peu, passe en profondeur à une dolomie bleue où fer, plomb et zinc sont restés à l'état de sulfures.

Les gisements, toujours extrêmement restreints, mais très nombreux, présentent deux types : les poches (mulden) et les nids (neste), dont une coupe théorique (fig. 130) indique la disposition.

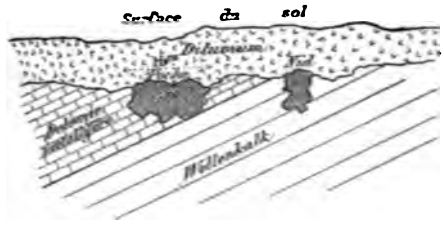


Fig. 130. — Coupe verticale théorique des gîtes de minerai de fer de Tarnowitz.

Les *poches* (mulden) sont dans la dolomie métallifère et s'arrêtent, en général, au wellenkalk au-dessous. Elles ont 10 à 30 mètres de diamètre ; au plus, 30 de profondeur. Il apparaît, au milieu du minerai, des blocs de dolomie corrodée qui ont résisté à la dissolution par les eaux. Le minerai est enveloppé d'une couche d'argile blanche, qui peut avoir de $0^m,10$ à 1 mètre et repose directement sur la dolomie.

Les *nids* (neste) remplissent des cavités creusées dans le wellenkalk, situé primitivement au-dessous de la dolomie qui a fourni le fer et que les érosions ont fait disparaître. Les cavités, plus restreintes que les poches, ont 5 à 6 mètres de diamètre, autant de profondeur ; on y observe également, sur la périphérie, un enduit d'argile blanche et les parois calcaires semblent avoir subi un commencement d'attaque.

Le minerai, dans ces deux catégories de gisements, a, le plus souvent, l'aspect d'une ocre jaune, d'une terre brune plus ou moins argileuse ; quelquefois aussi, on a des rognons d'hématite qui peuvent être manganésifères.

La teneur moyenne est de 38 à 40 p. 100 de fer ; 22 à 35 p. 100

[1] Voir t. II, ch. du *Zinc*.

d'eau ; 15 à 20 p. 100 de résidu. Il y a 0,3 p. 100 de phosphore.

Les *exploitations*, réduites à des fouilles superficielles, se déplacent incessamment.

2° Les *minerais du keuper* se composent : soit de lits, ou rognons alignés, à deux ou trois niveaux dans le haut du keuper ; soit de couches de 5 à 25 centimètres de puissance. Les rognons renferment souvent des géodes de fer carbonaté ; les couches sont formées d'hématite rouge un peu pyriteuse, tenant 30 à 40 p. 100 de fer. Les difficultés d'épuisement et l'irrégularité des gîtes n'ont pas permis aux exploitations de se développer.

3° Le *jura brun* renferme quatre ou cinq couches presque planes de 8 à 30 centimètres de puissance séparées par des couches argileuses. Ces couches, de fort peu d'importance en Prusse, se développent, au contraire, en Russie. Les minerais ont une teneur de 20 à 45 p. 100.

4° Le *tertiaire* contient des masses d'hématite argileuse, dont la puissance atteint 35 centimètres et la teneur 30 p. 100. La qualité est généralement en raison inverse de la puissance.

Enfin 5°, vers Creuzburghütte, Malapane, Pless et Ratibor, on a exploité du *minerai des prairies* ou Raseneisenstein, formant des couches étendues de 15 à 30 centimètres de puissance à 25 p. 100 de fer, toujours phosphoreuses et immédiatement situées sous le gazon.

Bibliographie du fer silésien.

1822. Oeynhausen. — (*Geogr. Beschr. von Oberschlesien.*, p. 120, 150 et 164.)
1847-1851. Wachler. — *Die Eisenerzeugung Oberschlesiens.*
1860. Cotta. — (*Berg. u. hütt. Zeit.*, n° 12.)
1861. Cotta, p. 234.
* 1870. Rœmer. — (*Geologie Oberschlesiens*, p. 531.)
1881. V. Groddeck, p. 119.
1892. L. de Launay. — (*Notes de voyage inédites.*)

MINERAIS DE FER TRIASIQUES DU GARD ET DE L'ARDÈCHE

En France, il existe, dans le Gard, l'Ardèche, etc., une zone

minéralisée importante, située dans la dolomie qui surmonte les conglomérats et grès de la base du trias; par conséquent, dans des conditions très analogues à celles que nous venons de rencontrer en haute Silésie. C'est au toit de cette dolomie que se trouvent, dans le Gard, les gîtes de Bordezac et le Travers près Bessèges, Saint-Florent, Blannaves, etc. [1], exploités autrefois par la Compagnie de Terrenoire, la Voulte et Bessèges. Dans l'Ardèche, on a, au mur de la même dolomie, Ailhon, Merzelet, Montgros, etc. Nous emprunterons à un mémoire de M. Ledoux [2], quelques détails sur ces mines.

Le trias de l'Ardèche qui, sauf un lambeau de permien près Largentière et un peu de houiller près Banne, repose, en général, directement sur le terrain primitif, commence par 15 mètres de conglomérats, surmontés d'environ 35 mètres de grès. Puis viennent des marnes schisteuses et enfin un calcaire jaunâtre dolomitique, de 1 à 6 mètres d'épaisseur, qui constitue l'horizon métallifère signalé plus haut. On y trouve, non seulement les minerais de fer de Merzelet, Montgros, etc.; mais de la galène à Largentière et Notre-Dame de Laval, de la calamine près Joyeuse, de la pyrite à Soyons [3], etc.

Le minerai de fer se compose, tantôt de carbonate, tantôt de peroxyde hydraté qui résulte de la décomposition du premier, comme nous le verrons pour Merzelet. Sa stratification, absolument concordante avec celles des couches encaissantes, l'a fait considérer comme contemporain des dépôts. Cependant, d'après M. Ledoux, il ne résulterait pas d'une simple sédimentation, mais d'un épanchement de sources chargées, ici de fer, là de plomb, ailleurs de zinc, et en relation nette avec les grandes failles de la région, à quelque distance desquelles il disparaît. Ce ne serait donc qu'un des termes des venues hydrothermales métallifères, si abondantes à l'époque triasique.

Merzelet (Ardèche [4]. — La couche de minerai de fer de Merzelet est intercalée sous le banc de calcaire dolomitique mentionné tout à

[1] Coupes dans Czyszkowski, *loc. cit.*, pl. X.

[2] Minerais de fer de l'Ardèche. Privas, 1868.

[3] Voir plus haut, page 229.

[4] Coll. École des Mines 1921.

l'heure, et dont on suit l'affleurement du Sud de Merzelet jusqu'à Chaunes, au Nord. La direction est d'environ N.-25°-E. avec une pente de 10 à 12° vers le S.-E. Cet affleurement est situé à peu de distance de la crête qui sépare la vallée de la Lende à l'Ouest, de celle de l'Ardèche à l'Est, sur le versant Ouest de cette ligne de collines. Sur le versant Est, par suite d'un anticlinal, l'affleurement reparaît dans le ravin de Courte-Oreille et dans celui du Roubier ; la couche s'enfonce ensuite, avec le trias, sous le jurassique, en reprenant son pendage Sud-Est. L'exploitation a été recommencée en 1888, après une suspension de sept ans. Ce gîte peut nous permettre d'étudier l'altération superficielle du carbonate et sa transformation en peroxyde.

Aux affleurements, on avait trouvé jadis 4 mètres de minerai peroxydé, facile à abattre, cloisonné, ayant une teneur de 60 à 50 p. 100 de fer manganésifère et traversé par des veinules barytiques. En profondeur, on a rencontré, soit du stérile, soit du minerai pierreux, dolomie mêlée d'argile avec 12 à 15 p. 100 seulement de fer (donc inexploitable). Le minerai cloisonné de la surface vient d'une décomposition de ce minerai carbonaté et en conserve souvent des fragments. Il ne se trouve, par suite, qu'au voisinage de la superficie et des failles où l'eau a pu agir sur lui. Dans la partie Sud de la couche, près de Merzelet, il en existe une région exploitée.

A un premier degré d'altération, on a un noyau de carbonate tenace et inaltéré, la croûte étant épaisse et chargée en limonite adhérente au noyau. Quand l'altération est plus avancée, le noyau perd sa consistance, devient sableux ou marneux, blanchit, et cesse d'adhérer à l'enveloppe hydratée. Cette décoloration prouve que les éléments ferrugineux se sont transportés, par une sorte de cémentation, du centre à la circonférence. On a quelque chose d'analogue dans les *pierres d'aigle* quaternaires, où un noyau de marne blanchie est emprisonné et souvent mobile dans une enveloppe de limonite.

L'exploitation occupe actuellement 28 ouvriers produisant chacun 2 tonnes par jour et payés 2 fr. 50 par tonne. La teneur en fer varie de 36 à 40 p. 100.

Il restait, en 1889, environ 7 à 8 000 tonnes à prendre.

Bibliographie.

1849. Fauvergue. — Sur le minerai de fer en grains de Saint-Priest, près Privas (Ardèche). (*B. S. G.*, 2e, t. VI, p. 524.)

*1868. Ledoux. — Étude sur le triasique et le jurassique et les gisements de minerai de fer de l'Ardèche (1 vol. Privas).

1875. Fabre. — Sur le sidérolithique de la Lozère. (*B. S. G.*, 3e, t. III, p. 583.)

1890. Fèvre. — Notes inédites.

FER HETTANGIEN
THOSTES ET BEAUREGARD (COTE-D'OR)[1]

L'hettangien inférieur, ou calcaire à lumachelles, renferme, en Bourgogne, une couche de minerai de fer de 1m,25 d'épaisseur à 35 p. 100 de fer, qui a été autrefois exploitée à Thostes et à Beauregard[2]. M. Evrard a remarqué que, dans une portion du gîte, des actions postérieures avaient enrichi le minerai à 67 p. 100 en le concentrant dans une couche proportionnellement plus étroite.

MAZENAY ET CHANGES (SAONE-ET-LOIRE)[3]

Les gîtes de Mazenay et Changes (Saône-et-Loire), exploités par le Creusot, appartiennent à la partie supérieure de l'hettangien ou foie de veau.

Le minerai à gangue calcaire contient :

	Mazenay Puits St-Eugène	Changes Puits St-Charles
Fer métallique	25,39	28,03
Manganèse métallique . . .	0,15	0,15
Soufre	0.13	0,17
Phosphore.	0,44	0,45

[1] Coll. Ecole des Mines 1923.

[2] 1867. Evrard. — Le plateau de Thostes et ses mines de fer. (*Cuyper*, t. XXII, p. 1.)

1884. Czyskowski, p. 354.

[3] Coll. Ecole des Mines, 1922.

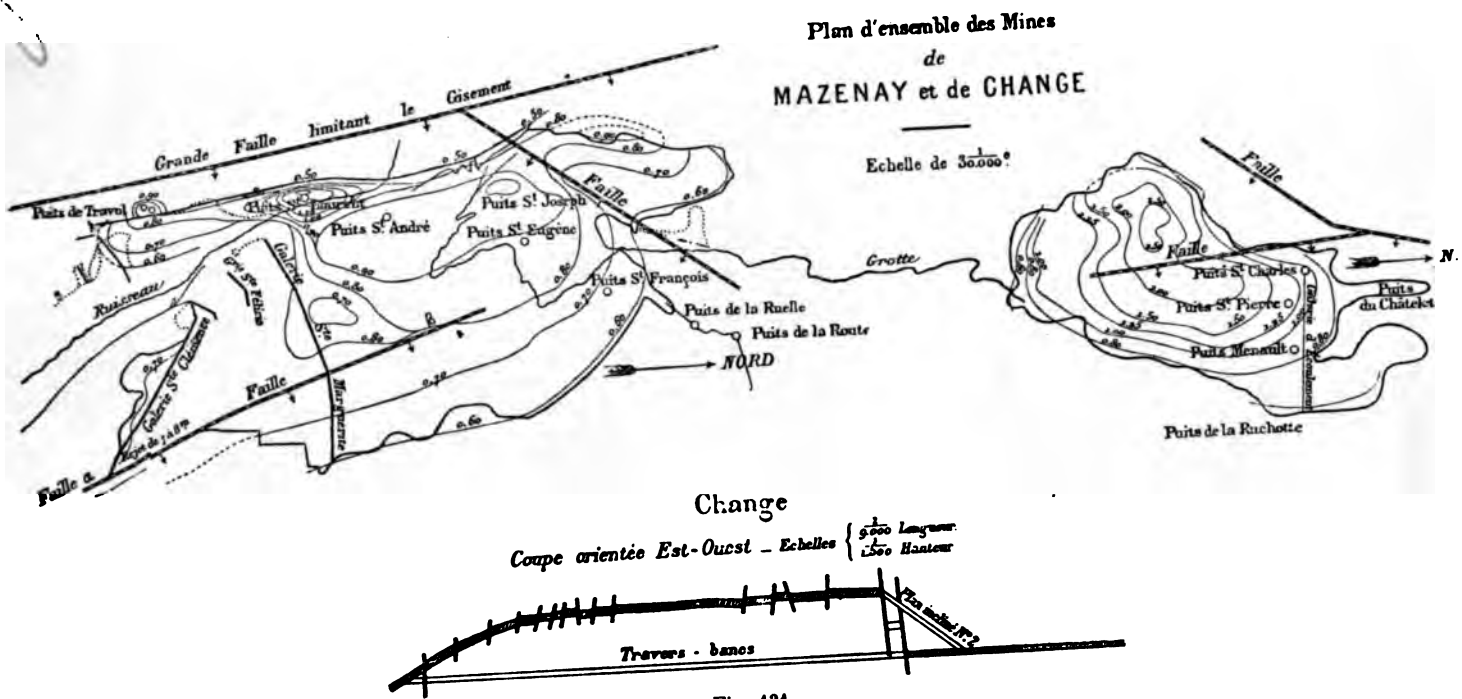

Plan d'ensemble des Mines
de
MAZENAY et de CHANGE
Echelle de 1/30.000e
Grande Faille limitant le Gisement
Puits de Travol
Puits St. Laurent
Puits St. André
Puits St. Joseph
Puits St. Eugène
Faille
Grotte
Puits St. François
Puits de la Ruelle
Puits de la Route
NORD
Ruisseau
Galerie Ste. Félicie
Galerie Ste. Claudine
Faille
Faille
Puits St. Charles
Puits St. Pierre
Puits Menault
Puits du Châtelet
Puits de la Ruchotte
N.
Change
Coupe orientée Est-Ouest – Echelles 1/5.000 Longueur 1/500 Hauteur
Travers - bancs

Fig. 131.

La coupe est, à Changes, la suivante, de haut en bas :

Calcaire oolithique.
Marnes supraliasiques.
Calcaire à bélemnites.
Lias bleu à gryphées (pierre bise).
Lias bleu sans gryphées (banc carré des carrières) : 0m,25.
Lias bleu à gryphées : 4m,59.
Minerai de fer : 0m,70.
Calcaire cristallin bleu passant au jaune foncé : 0m,70.
Marne.
Calcaire plus cristallin que le précédent : 0m,40.
Marne.
Calcaire jaune (gros banc), quelquefois avec oolithes ferrifères : 0m,80.
Calcaire marneux et marne : 1 mètre.
Lumaquelle : 0m,10.
Calcaire siliceux : 0m,05.
Marnes rouges et vertes.
Arkose avec gypse.
Granite.

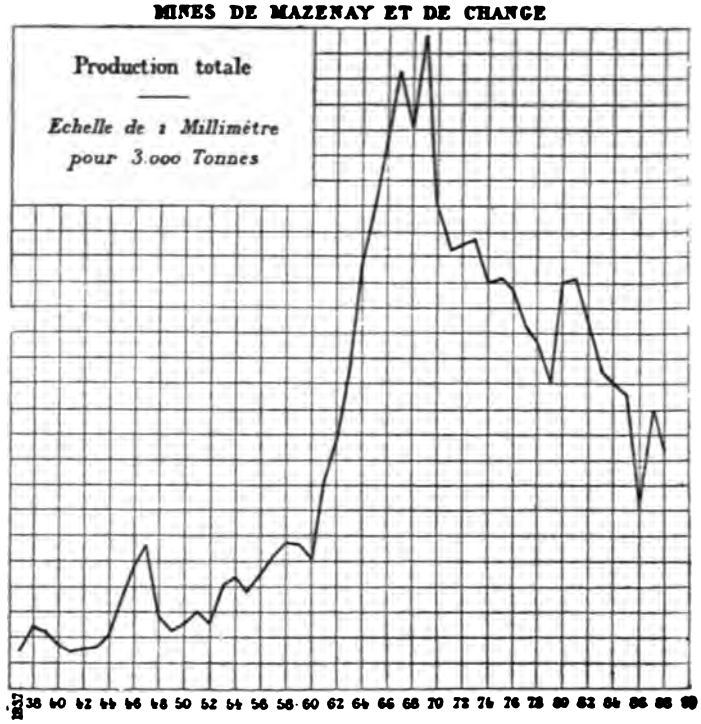


Fig. 132.

Le gîte, dont la puissance varie entre $0^m,60$ et $2^m,50$, comme le montre le plan ci-joint (fig. 131), forme une lentille d'environ 8 kilomètres de long et 1 kilomètre de large. Un graphique (fig. 132) donne les variations de la production, qui a atteint 250 000 tonnes en 1868, et n'a plus été que de 128 000 tonnes, valant 400 000 fr., en 1890.

Bibliographie.

1878. Jordan. — L'industrie du fer en France. (*Cuyper*, t. IV, 1878.)
1884. Czyskowski, B. Soc. Ind. Min., p. 354
1890. Lebreton. — Notes inédites.

FER SINÉMURIEN — HARZBOURG[1]

En Allemagne, on exploite à *Harzbourg*, sur le versant Nord du Harz, un beau gîte d'hématite brune oolithique appartenant à la zone à Amm. Bucklandi du lias inférieur (sinémurien). L'épaisseur totale est de 12 mètres; les couches très redressées comprennent quatre bancs de minerai très riches en fossiles, ayant ensemble $4^m,10$ de puissance.

FER TOARCIEN — MEURTHE-ET-MOSELLE[2]

Le toarcien présente, à la frontière de la France, de l'Alsace-Lorraine et du Luxembourg, un niveau ferrugineux qui est aujourd'hui la principale source de minerais de fer en France. Le même niveau se retrouve en Allemagne, en Cleveland, etc.

Les minerais de fer de l'Est de la France et des pays voisins ont été exploités à une époque reculée qui paraît être antérieure au VIe siècle. Abandonnés, puis repris en 1834, mais relativement

[1] 1871. Klupel. — (*Berg. u. Huttenm Zeitung*, 1871, p. 22.)
1881. Groddeck, p. 119.
Haniel. — (*Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch.*, t. XXVI, p. 65.)
[2] Coll. *Ecole des Mines*, 1738.

négligés à cause de la présence constante d'une proportion relativement forte de phosphore, ils doivent leur fortune considérable, dans ces dernières années, à la découverte des procédés de déphosphoration.

En France, ils alimentent les trois groupes de mines de Nancy, Briey et Longwy ; en Alsace-Lorraine, les magnifiques concessions d'Hayange et de Moyeuvre ; en Luxembourg, la région de Dudelange, etc.

Nous insisterons surtout sur la partie restée française qui peut donner une idée des autres [1].

Aperçu général. — Un des traits les plus saillants de la structure du département de Meurthe-et-Moselle est la longue ligne de côtes qui le traverse du Sud au Nord, en passant près de Nancy, pour se prolonger ensuite vers Metz. Constituées d'une manière uniforme,

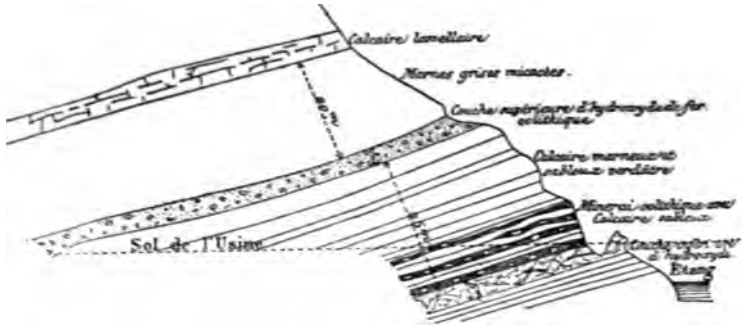


Fig. 133. — Coupe transversale de la vallée d'Ottange.

toutes ces côtes sont formées de masses argileuses liasiques en pente douce, surmontées par des escarpements de bancs calcaires de l'oolithe inférieure ; c'est au contact de ces deux terrains qu'apparaît le minerai de fer sous forme d'une matière ocreuse et grenue, s'étendant en couches régulières sous les plateaux. Ce minerai est un oxyde de fer hydraté, à texture oolithique et à gangue argileuse, calcaire ou siliceuse, toujours phosphoreux, dont on peut estimer, en moyenne, la teneur en fer métallique à

[1] La plupart de nos renseignements sont empruntés à un mémoire de M. Cousin sur l'industrie minerale dans le departement de Meurthe-et-Moselle (1886).

33 p. 100 et la teneur en phosphore à 0,6 p. 100 environ. Les affleurements les plus étendus sont aux environs de Nancy; ils sont exploités sur de grandes longueurs entre Saint-Pancré et Villerupt.

Le département renferme un autre minerai, dit minerai de fer fort, formé de grains oolithiques empâtés dans l'argile rouge et disposés en poches superficielles dans les calcaires de l'oolithe; mais ce minerai, autrefois recherché, est abandonné depuis 1882, date de l'extinction du dernier haut fourneau au bois. Nous en dirons quelques mots plus tard [1].

Nature du minerai. — Les oolithes qui sont la partie riche du minerai toarcien ont une forme sphéroïdale, souvent aplatie et un diamètre de un demi à un quart de millimètre. Chacune est composée de couches concentriques de peroxyde de fer hydraté plus ou moins argileux; la surface est, en général, lisse, brillante et de couleur brune avec nuances variant du jaune au rouge. Une analyse faite par M. Braconnier sur des oolithes bien isolées a indiqué une teneur en fer de 53 p. 100.

Le ciment qui réunit les oolithes est un mélange en proportions variables d'argile, de calcaire et de silicates ou silico-aluminates de fer, unis quelquefois à du carbonate de fer. Composé, dans certains minerais, de calcaire pur, il est alors blanc ou grisâtre; ailleurs, il est gris noirâtre, vert ou, plus souvent, d'un brun ocreux; au voisinage de la surface, il passe au jaune ou au rouge par suroxydation; la couleur verte indique la prépondérance du protoxyde de fer. De petits grains de quartz arrondis accompagnent souvent les oolithes. La teneur en fer du ciment peut dépasser 35 p. 100.

En moyenne, la teneur en fer du minerai varie entre 30 et 36 p. 100, comme le montre un tableau suivant (p. 780). Si elle descend au-dessous de 30 p. 100, le minerai n'est plus utilisable jusqu'à 20 ou 25 p. 100 que comme mélange (calcaire ferrugineux) et seulement quand la gangue est calcaire. La proportion du phosphore varie entre 0,2 et 1 p. 100; celle de soufre ne dépasse guère quelques dix-millièmes.

[1] Voir page 805.

TABLEAU DONNANT LA COMPOSITION DES MINERAIS DE FER OOLITHIQUE

NOM DES CONCESSIONS	NUMÉROS des couches	PERTE au feu	SiO^2	PhO^5	SO^3	Fe^2O^3	Al^2O^3	CaO	MgO	Fe
Marbache	[illegible]	24,70	4,60	0,85	traces	40,40	7,40	21,30	1,00	28,30
Pompey	[illegible]	20,80	4,10	traces	traces	57,70	7,80	9,50	traces	40,40
Avant Garde	[illegible]	20,00	5,60	0,12	0,06	51,70	7,50	14,30	0,30	36,20
	[illegible]	14,60	26,00	0,51	0,21	40,20	14,40	3,60	0,60	28,10
	[illegible]	19,30	4,00	0,13	0,06	60,00	6,60	8,00	traces	42,00
Hazotte	[illegible]	17,60	18,70	0,20	0,02	41,10	13,40	6,30	1,70	28,80
	[illegible]	18,30	6,30	0,10	0,03	57,70	8,50	8,30	0,70	40,40
Croisette-Liverdun	[illegible]	24,30	10,00	0,28	0,08	51,70	11,60	21,00	1,00	22,20
	[illegible]	15,00	17,30	0,03	0,03	51,80	14,10	3,00	1,60	36,30
Liverdun	[illegible]	14,90	23,50	traces	traces	31,80	21,40	5,70	2,40	22,20
	[illegible]	16,10	11,40	0,06	»	59,70	10,90	1,30	1,00	41,80
Voilletriche	[illegible]	15,60	16,90	traces	traces	49,70	15,10	2,60	traces	34,80
Frouard	[illegible]	16,60	18,50	0,07	»	45,20	8,00	9,10	1,00	31,60
	[illegible]	17,40	14,40	0,06	»	54,50	12,70	3,00	0,90	38,20
Champigneulles	[illegible]	16,40	27,50	traces	traces	29,50	13,40	4,50	1,60	20,70
	[illegible]	15,70	13,20	traces	traces	52,70	11,40	4,80	1,80	36,90
Boudonville	[illegible]	23,20	6,00	0,12	»	50,30	4,90	12,20	1,40	35,20
	[illegible]	22,80	6,20	0,06	»	60,00	4,40	4,20	0,80	41,40
Laxou	[illegible]	13,30	25,10	0,21	traces	48,00	12,20	traces	traces	33,60
	[illegible]	12,60	7,30	0,10	traces	71,40	8,10	traces	traces	50,00
Chavigny	[illegible]	20,80	19,30	0,06	traces	30,80	10,90	15,40	2,20	21,60
	[illegible]	20,10	3,70	0,15	traces	54,20	10,00	7,60	3,50	38,00
Pond-de-Monvaux	[illegible]	15,40	20,20	0,01	traces	32,50	14,20	0,60	1,90	23,50
	[illegible]	15,80	18,60	0,06	traces	48,00	11,30	2,60	1,70	34,20
Lay-Saint-Christophe	[illegible]	21,40	5,00	0,10	traces	47,40	12,20	12,00	traces	33,20
	[illegible]	16,50	22,10	0,11	traces	45,10	14,20	3,70	0,10	31,60
Bouxières-aux-Dames	[illegible]	16,70	7,50	0,17	traces	61,00	8,20	5,40	0,40	43,40
	[illegible]	25,60	10,10	traces	traces	37,80	0,63	10,20	0,01	26,20
Hussigny	[illegible]	13,20	15,00	»	»	58,30	0,87	0,37	0,04	40,60
	[illegible]	24,40	9,40	0,10	»	45,20	8,40	11,20	0,07	31,60
Herserange	[illegible]	15,40	11,40	0,17	»	54,30	9,40	6,70	0,03	38,00
	[illegible]	26,00	10,00	0,06	»	29,80	7,03	25,80	traces	20,08
Saulnes	[illegible]	15,00	16,00	0,10	»	59,70	9,05	8,00	traces	41,80

On recherche surtout les minerais qui unissent à une bonne teneur en fer une composition de gangue permettant de les fondre seuls, sans addition de matières pauvres ou stériles. L'élément calcaire manquant souvent, ceux où il surabonde sont très estimés.

Structure des couches. — Les couches de minerai oolithique sont rarement homogènes sur toute leur hauteur et se composent d'une série de bancs de qualités différentes, quelquefois soudés l'un à l'autre avec variation continue de composition, d'autres fois nettement séparés par des « décollements ». Dans les bancs eux-mêmes, le minerai est accidenté par des veinules irrégulières et des rognons lenticulaires d'argile marneuse ou de calcaire plus ou moins ferrugineux, et, vers la base du gisement, par des veinules de fer hydroxydé compact, disposées parfois en géodes renfermant une argile sableuse. Les fossiles, assez fréquents dans le minerai, permettent d'y caractériser plusieurs niveaux. Certains lits pétris de coquilles et appelés « coquillages » forment souvent la limite des bancs exploitables. On trouve également des fragments de bois fossile ayant conservé leur structure et leur combustibilité.

La forme générale du gîte est lenticulaire, très allongée dans un sens, relativement étroite dans l'autre, la diminution d'épaisseur du minerai utilisable s'opérant à la fois par une réduction réelle de puissance et par un appauvrissement progressif. Il existe un plongement très net vers l'intérieur du bassin de Paris avec de nombreuses failles accessoires. Tous les caractères, nature des fossiles, fragments de bois, etc., montrent qu'on a affaire à un dépôt littoral au fond d'un grand golfe de la mer liasique.

Composition du gisement. — On distingue trois étages principaux de minerai séparés par des lits marneux ; au toit, une couche d'argile marneuse micacée supporte les premiers calcaires de l'oolithe. L'étage supérieur est appelé souvent, à Briey, couche rouge ; le moyen, couche grise ; l'inférieur, couche noire, sans qu'il faille attribuer beaucoup d'importance à ces dénominations, les couleurs étant, en réalité, très variables ; il peut exister, en outre, au-dessus de la couche grise, une couche jaune, et, à la base, une couche verte.

La formation ferrugineuse dépasse parfois 30 mètres de puissance, dont 10 exploitables ; ailleurs, il n'y a que quelques décimètres de puissance ; en Meurthe-et-Moselle, on ne peut guère exploiter au-dessous de 1 mètre, et la puissance de minerai dépasse rarement 3 mètres.

Exploitations. — Les exploitations portent, comme nous l'avons dit, sur les trois groupes de Nancy, Briey et Longwy.

Autour de Nancy, les concessions s'étendent de Pont-Saint-Vincent à Marbache. Elles sont au nombre de 46 dont 13 exploitées, ayant, en 1885, produit 585 000 tonnes (Chavigny, Marbache, Ludres, la Fontaine-des-Roches, le Val-de-Fer, Boudonville, l'Avant-Garde, Bouxières-aux-Dames, Maxéville, Laxon, Champigneulles, la Grande-Goutte et Frouard). Les travaux sont souterrains.

Autour de Longwy, les exploitations s'étendent de Cosnes à Villerupt, surtout dans les communes de Villerupt, Saulnes, Hussigny et Herserange. La présence de nombreuses vallées recoupant les couches a permis de développer les travaux à ciel ouvert. 25 concessions (dont 13 exploitées) ont fourni, en 1885, 70 700 tonnes de minerai. Ce sont, par ordre d'importance décroissante, Herserange, Saulnes, Hussigny, Longlaville, Micheville, Mont-Saint-Martin, Lexy, Godbrange, Mexy, Senelle, le Mont-de-Chat, Moulaine et Villerupt.

Enfin, le groupe de Briey comprend 10 concessions, accordées à la suite d'une série de sondages exécutés de 1882 à 1885 sur les conseils de M. Genreau, ingénieur en chef des mines.

Au total, la production du département a été :

1884	1885	1886	1887	1888	1889	1890
1 970 000 t.	1 674 000 t.	1 713 000 t.	1 953 290 t.	2 261 346 t.	2 413 123 t.	2 630 311 t

Résultats économiques. — Dans les exploitations à ciel ouvert, le prix d'abatage du minerai oscille autour de 0 fr. 45 par tonne. Les frais d'abatage et de transport aux remblais des stériles portent le prix de revient sur place entre 1 franc et 1 fr. 50. Le droit au propriétaire du sol varie de 0 fr. 20 à 0 fr. 60.

Dans les exploitations souterraines, le salaire de l'ouvrier varie

de 0 fr. 80 à 2 francs par tonne de minerai ; il faut ajouter 0 fr. 15 à 0 fr. 50 de boisage, l'entretien, les frais de transport, etc. En somme, le prix de revient à l'usine se tient en général entre 2 fr. 50 et 3 fr. 50 et dépasse rarement 4 francs. En 1890, le prix moyen du minerai, sur le carreau de la mine, a été de 2 fr. 90.

Le département renfermait, en 1885, 53 hauts fourneaux ayant produit 707 000 tonnes, soit 43 p. 100 de la production française.

En 1890, la production de Meurthe-et-Moselle a été de 1 100 000 tonnes de fonte (sur 2 500 000 dans toute la France), 37 000 tonnes de fer et 62 000 tonnes d'acier.

Ces usines consomment, en outre, des minerais riches et purs de Bilbao et, en petites quantités, pour des fontes spéciales, des minerais de manganèse de Nassau et de Grèce.

Bibliographie.

1843. Guibal. — Statistique du département de la Meurthe.
1849. Husson. — Esquisse géologique des environs de Toul.
1849. Levallois. — (*Ann. d. M.*, t. XVI, p. 241.)
1851. Levallois. — Aperçu de la constitution géologique du département de la Meurthe.
Hébert. — Les mers anciennes et leurs rivages dans le bassin de Paris.
1855. Terquem. — Paléontologie du département de la Meurthe.
1861. Levallois. — Sur les mines de fer de Floranges (Moselle). (*B. S. G.*, 2e, t. XVIII, p. 370.)
1862. Fabre. — (*Bull. de la Soc. géol.*, 1862, p. 357.)
1868. Les minerais de fer dans la Meurthe. (*Bull. Ann. d. M.*, 6e, t. XIX, p. 430.)
1869. Benoit. — (*Bull. Soc. linnéenne de Bordeaux.*)
1873. Habets. — Les minerais de fer oolithiques du Luxembourg et de la Lorraine. (*Cuyper*, t XXXIV, p. 40.)
1873. (*Berg. u. Hutt. Z.*, p. 49.)
* Jacquot, Terquem et Barré. — Géologie de la Moselle.
1878. Braconnier. — Description géologique de Meurthe-et-Moselle.
1878. Jordan. — (*Mining Journal*, 21 septembre 1878, p. 1036.)
1879. Lothinger. — Einsenwerke zu Ars an der Mosel. (*Oestz. Zeitsch.*, 1879, p. 557.)
Caillaux. — Mines et minéraux de la France.
1883. Bleicher. — Minerais de fer de Lorraine. (*B. S. G.*, 3e, t. XII, p. 46.)
1885. de Roebe. — Mines de fer du Luxembourg. (*Cuyper*, t. IX, p. 583.)
* 1886. Cousin. — Sur l'industrie minérale dans le département de Meurthe-et-Moselle.

Voir encore *Zeitschrift f. d. B. u. S.*, t. XXIII, B, p. 9 ; Groddeck, p. 120. Davies, p. 259.

Nogent (Haute-Marne)[1]. — En France, on peut encore citer, dans le toarcien, la couche de Nogent (Haute-Marne) qui a jadis donné naissance à l'importante industrie de la coutellerie nogentaise.

Les minerais de *Saint-Priest*, *Ferrières*, etc. (Ardèche); ceux de *Villebois* (Ain) et de *la Verpillière* (Isère), pour la plupart abandonnés aujourd'hui, appartiennent également au lias supérieur.

A *Veuzac*, dans l'Aveyron, Coquand a signalé de même, dans le lias, un gisement de fer hydroxydé avec fer oligiste, fer oxydulé empâtant des fossiles, donc d'origine hydrothermale[2].

Cleveland. — Dans le Cleveland, le minerai carbonaté, désigné quelquefois sous le nom de carbonate de Whitby, forme une couche de $2^m,50$ à 3 mètres de puissance et a même atteint, par endroits, $4^m,80$. Il a un aspect pierreux caractéristique.

Dans certaines régions, il y a des intercalations de schistes et le minerai forme alors plusieurs couches de 1 mètre à $1^m,50$.

La teneur de fer varie de 30 à 35 p. 100; la proportion de phosphore est assez forte. C'est au toit des minerais que l'on exploite du jayet[3], également dans le toarcien.

Bibliographie.

1861. Benick. — Treatise on the Cleveland ironstones.

1873. John Jones. — Sur la géologie du district sidérurgique du Cleveland. (*Cuyper*, t. XXXIV, p. 67.)

Stewenson. — Sur l'exploitation des minerais de fer du Cleveland.

1884. Czyszkowski, *Bul. Soc. Ind. Min.*, p. 357.

1889. Davies, p. 269.

[1] 1878. Rigaud. — Notice sur les minières de la Haute-Marne. (*Ann. d. M.*, 7e série, t. XIV.)

[2] (*B. S. G.*, 5 avril 1852, 2e, t. IX, p. 345.)
Cf. Sénarmont : sur la formation des minéraux par voie humide dans les gîtes métallifères concrétionnés (1848 ?).

[3] Voir page 50.

FER BAJOCIEN. — OUGNEY, ISENAY, PRIVAS, ETC.

L'*oolithe ferrugineuse,* au sommet du calcaire à entroques et à la base du bajocien, a donné lieu en France à un assez grand nombre d'exploitations, pour la plupart aujourd'hui délaissées.

Nous citerons *Ougney*, dans le Jura[1], dont l'extraction s'est élevée à 15 000 tonnes en 1882, le prix de revient étant de 2 fr. 80, et qui a fini par être abandonné en 1889; puis *Laissey,* dans le Jura; dans la Nièvre : *Isenay*, *Vandenesse*[2], *Gimouille,* etc., tous gisements remarquables par l'abondance des fossiles (Amm. Polymorphus, Garantianus, etc.) et généralement phosphoreux. Dans l'Aveyron, le gîte de *Mondalazac*[3] a alimenté longtemps les hauts fourneaux de Decazeville et d'Aubin.

C'est également, à peu près, le niveau du minerai de *Privas* (Ardèche), qui comprend deux couches distinctes, l'une de $0^m,40$ encore dépendante du calcaire à entroques et correspondante aux oolithes de Gimouille (Amm. Opalinus, Humpresianus, Garantianus) ; l'autre, un peu plus élevée, appartenant aux marnes siliceuses de l'oolithe inférieure.

La couche du mur est formée d'un minerai noueux à structure oolithique prononcée, renfermant fréquemment des fragments de quartz roulés. Le minerai passe quelquefois à des variétés siliceuses dites *agatisées* (eisenkiesel des Allemands), qui finissent par n'être plus qu'un silicate de fer.

La couche supérieure, qui est la plus riche, forme une lentille dont le centre a $7^m,10$ d'épaisseur[4] et dont l'allongement est Est-Ouest. Elle a 4 460 mètres sur 1 700.

De nombreuses failles la renferment, dont quelques-unes Nord-Est contiennent de la pyrite uniquement au contact du minerai.

[1] Coll. *École des Mines*, 1926.
[2] Coll. *École des Mines*, 1927.
[3] Coll. *Écoles de Mines*, 1928.
[4] Voir, dans le mémoire de M. Ledoux, une carte et des coupes, pl. II et III.

Voici deux compositions de minerai :

	SiO^2	Al^2O^3	CaO	MgO	Perte au feu	Fer
Agatisé.	17,5	4,0	4,5	»	6,5	47,4
Feuilleté	12,30	6,3	4,7	»	7,32	47,5

Jusqu'en 1868, les mines de Privas, dont la principale est Veyras, avaient produit plus de 2 millions de tonnes ; leur extraction moyenne était alors de 160 000 tonnes. En 1888, les mines de l'Ardèche : Veyras, la Voulte et le Lac, exploitées par les compagnies de Lhorme et de Terrenoire, ont produit 93 000 tonnes à 6 fr. 40. En 1890, le département de l'Ardèche a fourni 62 000 tonnes de minerai, valant 377 000 francs.

Bibliographie.

1843. Fournet. — (*Ann. des sc. phys. et nat. de la Soc. d'agric. de Lyon*, t. IV.)

Grüner. — (*Ann. d. M.*, 4e série, t. VII.)

Élie de Beaumont. — Explication de la carte géologique, t. II, p. 738.

* 1868. Ledoux. — Minerais de fer de l'Ardèche.

A *Wasseralfringen*, en Wurtemberg, on exploite également deux couches d'hématite brune situées à la base du bajocien, dans la zone à Amm. Murchisoni.

En *haute Silésie*, la zone bajocienne à Amm. Parkinsoni contient des gîtes de fer carbonatés importants déjà mentionnés précédemment[1], gîtes situés à des altitudes variables entre 270 et 300 mètres ; il y a là de 3 à 6 amas stratifiés superposés, presque horizontaux, de $0^m,30$ à $0^m,70$ de puissance, séparés par des bancs d'argile.

FER CALLOVIEN. — LA VOULTE[2]

Le gisement de la Voulte (Ardèche) est interstratifié dans le callovien et renferme des Ammonites Anceps, Athleta et Macrocephalus.

[1] Page 771.

[2] Coll. *École des Mines*, 1929.

Il est formé d'une série de bancs ferrugineux, séparés par des intervalles variables de marnes schisteuses. L'ensemble de ces bancs constitue une demi-lentille, dont la plus grande épaisseur est aux affleurements et qui va en diminuant jusqu'à zéro dans la profondeur. La longueur du gisement, aujourd'hui en grande partie dépilé, était, en direction, de 1 600 mètres ; sa largeur de 240. Il a dû constituer primitivement une lentille complète, dont la moitié a été dénivelée par une faille et détruite par érosion.

On distingue 3 niveaux de minerai : banc du mur, banc moyen et banc du toit. Les bancs du mur, formés de minerai rouge foncé à structure oolithique, ont 2 mètres d'épaisseur maxima et se nomment la *couche oolithique*.

Au-dessus, viennent de puissantes assises de minerai rouge, feuilleté, renfermant par places des lits de minerai agatisé. On les appelle *couche oxydée*. C'est, de beaucoup, la couche la plus puissante (7^{m},50) et la plus riche.

Enfin, les bancs du toit sont généralement composés d'un minerai brun jaunâtre, dit *minerai lithoïde* ou minerai café, beaucoup moins riche que les précédents et ne dépassant pas une épaisseur de 2^{m},60.

La distinction entre ces 3 couches est d'ailleurs loin d'être nette.

On peut remarquer que le gisement est situé près des micaschistes et que, comme beaucoup d'autres, il doit être considéré comme littoral.

Voici la composition des minerais :

		SiO^2	Al^2O^3	CaO	MgO	PERTE au feu	OXYDE de fer	TOTAL	FER pur	Observations
La Voulte. . .	Ox. grillé .	18,00	9,00	2,30	»	2,10	68,40	99,80	47,9	
» . . .	Ox. cru . .	13,45	5,70	1,60	»	5,70	72,30	98,75	50,6	
» . . .	Agatisé . .	9,18	5,91	1,18	»	3,34	80,94	100,55	56,6	Traces de soufre
» . . .	Lith. grillé.	20,07	6,50	10,80	»	15,50	47,30	100,80	33,1	
» 1863.	Lith. cru. .	22,01	9,10	8,80	»	13,30	47,00	103,30	32,9	Idem
» 1865.	Id. . .	24,06	8,37	11,27	1,59	13,64	40,61	99,49	28,4	
» 1865.	Id. . .	22,23	9,35	7,40	1,46	11,34	46,62	99,10	32,6	

En 1867, la mine fournissait 40 000 tonnes de minerai. Aujourd'hui, avec Privas [1], elle arrive à 60 000 tonnes.

[1] Voir plus haut, page 785.

Oxfordien. — Le Gard présente, à *Pierre-Morte* et à la *Coste-de-Comeiras*, de l'hématite rouge lenticulaire dans l'oxfordien, zone à Amm. Cordatus. C'est aussi le niveau du fer de *Neuvisy* (Ardennes) et de celui de *Châtillon-sur-Seine* (Côte-d'Or).

FER CRÉTACÉ. — WASSY, ETC.

Le *néocomien* renferme le calcaire ferrugineux, dit limonite de Métabief, exploité autrefois à *Métabief* (Doubs).

Le *wealdien* contient également un niveau ferrugineux dans le *Bas-Boulonnais*[1].

Dans l'*urgonien*, on a la couche rouge de *Wassy*[2] et les minerais milliolithiques de Champagne.

L'étage urgonien est représenté dans la Haute-Marne par la série suivante :

6. *Couche rouge de Wassy* (0m,50 au plus).
5. *Minerai de fer oolithique* (0m,60 à 1m,40).
4. Grès et sables ferrugineux : 1 mètre.
3. Argile rose marbrée (1m,60 à 3 mètres).
2. Grès et sables piquetés, versicolores (3 à 4 mètres).
1. Argile ostréenne (14 à 15 mètres).

Le minerai hydroxydé (couche 5), en oolithes réunies par un ciment argilosiliceux, forme une nappe régulière aux alentours de Wassy et de Bailly-aux-Forges. Les coquilles qu'on y rencontre sont d'eau douce.

Au contraire, la couche rouge de Wassy est une argile durcie d'origine marine dont les fossiles indiquent la partie supérieure de l'urgonien.

En outre, il existe, à la base des argiles aptiennes, des minerais en grains très fins, dits milliolithiques, que l'on appelle aussi minerais de Wassy.

Enfin, on trouve dans la même région, à la surface, et particu-

[1] 1873. PELLAT. — Fossiles d'eau douce dans les minerais de fer wealdiens du Bas-Boulonnais. (*B. S. G.*, 3e, t. III, p. 642.)

1880. VAN DEN BROECK. — Quelques mots sur l'origine du minerai de fer du *Boulonnais* (In-8°, 7 pages). (*Extrait du Bull. Soc. géol. de France*, 3e série, t. VIII, 1880.)

[2] Coll. *École des Mines*, 1930.

lièrement dans des anfractuosités des calcaires portlandiens, *des minerais de fer géodiques*, qui paraissent, d'après les fossiles qu'on y a trouvés, résulter de la destruction, à l'époque diluvienne, des minerais néocomiens. M. de Chancourtois a émis l'opinion que ces minerais résultaient de sources thermales dont il a étudié les alignements ; cette idée paraît en désaccord avec l'examen du mode de remplissage de ces poches.

Bibliographie.

1856. Meugy. — Sur le synchronisme entre les minerais de fer géod. de la Haute-Marne et du Nord. (*B. S. G.*, 2e, t. XIII, p. 879.)

1860. Chancourtois. — Sur la distribution du minerai de fer dans le département de la Haute-Marne. (C. R., 10 septembre 1860.)

1872. Salzard. — Note sur les minières de fer de Wassy. (*Journal l'Ancre*, 7 août 1872.)

1873. Cornuel. — Cônes de pins fossiles du fer oolithique de Wassy. (*B. S. G.*, 2e, t. XXIII, p. 658, et 3e, t. I, p. 326.)

1874. Cornuel. — Description des fossiles d'eau douce du fer néocomien de la Haute-Marne. (*B. S. G.*, 3e, t. III, p. 371.)

1878. Minières de la Haute-Marne par Rigaud. (*Ann. d. M.*, t. XIV, 4e liv.)

Egalement, dans l'urgonien et l'aptien, on trouve sur le *versant nord des Carpathes*, depuis la Bukowine jusqu'à Teschen, des amas de carbonate de fer, tantôt parallèles à la stratification, tantôt obliques et disposés, suivant von Groddeck, de telle sorte qu'ils se recouvrent partiellement les uns les autres comme les tuiles d'une maison. Le nombre des couches est considérable et dépasse vingt ; la puissance varie de $0^m,15$ à $0^m,90$.

L'*aptien* nous fournit encore quelques amas d'hématites brunes en grains : par exemple au *Bois-des-Loges*, près de Grandpré (Ardennes), et à *Blangy*, dans l'Aisne.

A la *craie*, nous rattacherons le gîte, si important aujourd'hui, de Bilbao, qui est peut-être pourtant déjà, comme nous le verrons, d'âge éocène, et que nous considérons, d'après M. Cszyskowsky, comme un gîte de substitution.

FER DE BILBAO (BISCAYE)

(Amas d'hématite intercalés, par substitution, dans des calcaires turoniens.)

Historique. — La grande prospérité de la région de Bilbao est assez récente et date seulement de la révolution produite par la découverte du Bessemer. Dès cette époque, on s'occupa des minerais riches de la côte Nord d'Espagne, et on songea à créer à Bilbao une grande industrie ; mais la guerre carliste vint arrêter tous les travaux jusqu'en 1876. A partir de ce moment, l'industrie s'est développée comme le montrent les chiffres d'exportation suivants : en 1850, 3 200 *tonnes* ; en 1855, 70 000 ; en 1870, 250 000 ; en 1872, 580 000 ; en 1874 (guerre carliste), 20 000 ; en 1878, 1 225 000 ; en 1881, 2 500 000 ; en 1882, 3 700 000 ; en 1888, 3 591 000.

Il s'est fondé successivement un certain nombre de compagnies dont les principales sont : la Sommorostro Iron Ore Cie ; la Bilbao Iron Ore Cie ; l'Orconera Iron Ore, formée par les usines de Seraing, Denain, Anzin et John Cockerill ; la Cie Landore Siemens Steel ; la Viscaya Santander Mining ; la San-Firmin Mining, etc.

Les mines les plus importantes sont aujourd'hui, autour de Bilbao : Miravilla, El Morro, Ollargan, Iturrigori, Castrijana, etc. ; autour de Sommorostro : Triano, Galdanès, etc.

De 1878 à 1888, la consommation proportionnelle des divers pays a varié de la manière suivante :

	1878	1888		
Angleterre . .	856 038	2 017 719		56,2 % en Angleterre.
Ecosse	47 445	463 626		12,9 en Écosse.
Hollande et Allemagne . .	104 685	644 235	soit, en 1888	17,9 en Hollande pour l'Allemagne.
Belgique . . .	59 943	103 602		9,7 en France.
France. . . .	150 779	347 687		2,9 en Belgique.
États-Unis . .	5 840	14 778		0,4 aux États-Unis.
	1 224 730	3 592 637		

La production totale a été :

en 1887, de	4 553 104 tonnes	dont 4 170 422	exportées.
en 1888, de	4 045 495 —	3 591 657	—

Mais, avec cette exploitation intensive, on considére généralement l'avenir du gisement comme limité maintenant à un petit nombre d'années.

Le prix de vente varie aujourd'hui pour le minerai, dit Campanil, de 8 fr. 75 à 10 francs ; pour le minerai, dit Rubio, de 8 fr. 25 à 9 fr. 50.

Voici un exemple de prix de revient :

Extraction et mise en wagon	0,87
Transport par voie ferrée	0,77
Embarquement	0,19
Frais d'entretien et frais généraux	0,39
Frais d'amortissement (capital 5 545 000 francs)	1,45
Redevance	0,58
	4,25

Quand les transports sont longs, on peut arriver à près de 7 francs.

Ce district minier, qui est, comme le montrent les chiffres précédents, un des plus importants du monde, présente, par suite du mode de concessions adopté en Espagne, un spectacle assez étrange, les exploitations les plus rudimentaires se trouvant côte à côte avec des installations colossales. De la mer jusqu'à Bilbao, sur plus de 14 kilomètres de long, le Nervion est couvert de bateaux de tout pavillon.

Géologie. — Malgré une exploitation aussi intense, la géologie du gisement est assez mal connue, personne ne s'occupant sérieusement de faire des recherches à ce point de vue. Très fréquemment, on peut dire que la masse minérale se trouve intercalée, entre des grès schisteux ou micacés cénomaniens qui forment le mur et des calcaires argileux, peut-être déjà turoniens, qui constituent le toit ; mais ce n'est pas une règle absolue. Les minerais peuvent :

1° Etre en couches sur des grès (Orconera, Concha, Mora, Galdanès). Ces minerais, associés aux grès, sont généralement du

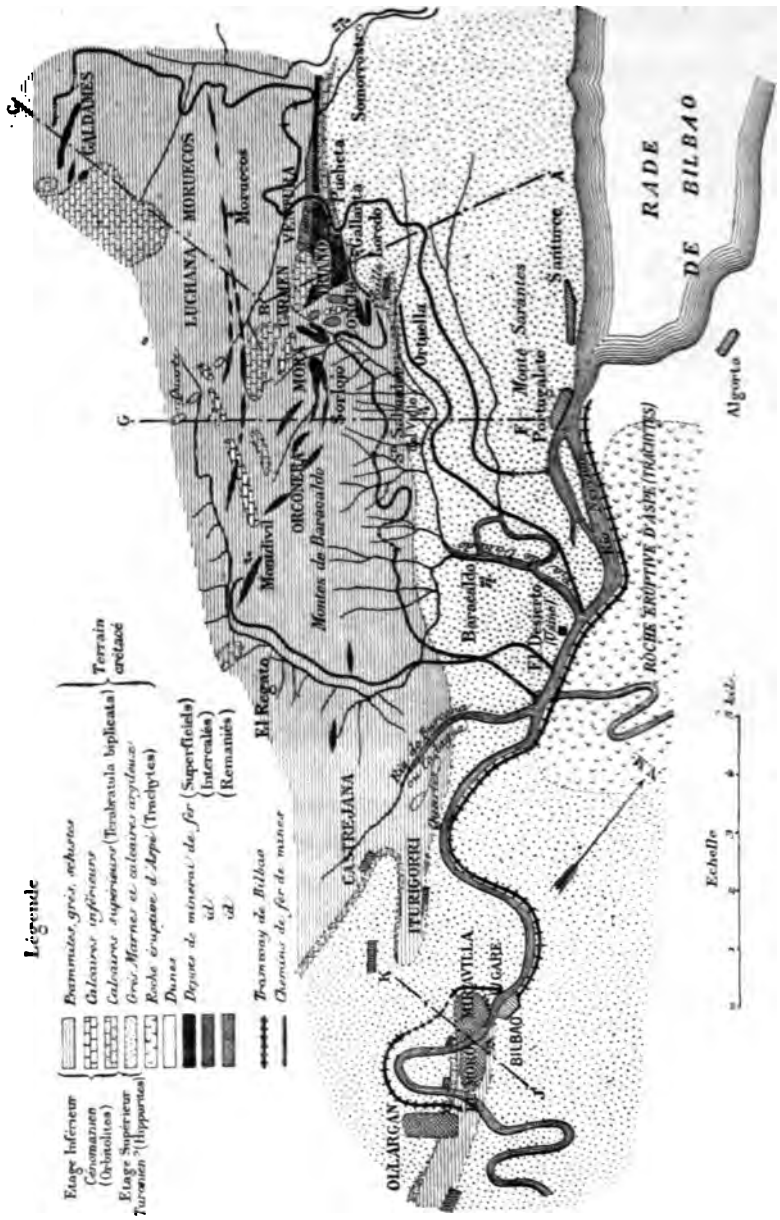


Fig. 134. — Carte géologique de la région ferrifère de Bilbao (d'après M. Czyszkowski).

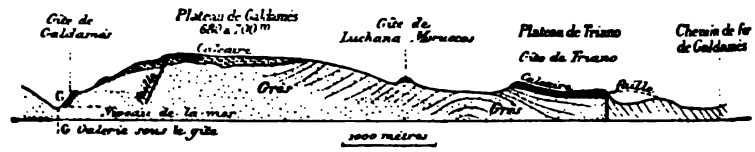


Fig. 135. — Coupe ABC.

rubio[1] (Orconera, Galdanès, Concha) ; quelquefois du carbonate décomposé (Mora); toujours des minerais ne contenant pas de chaux ;

2° Etre sur les calcaires ou substitués aux calcaires (grand gîte de Triano). Là on trouve le plus souvent du campanil ;

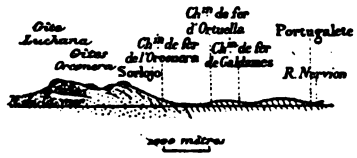


Fig. 136. — Coupe FG.

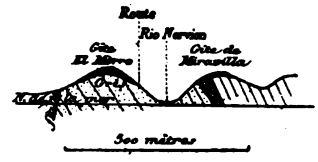


Fig. 137. — Coupe IK.

3° En rapport avec les marnes (Ollargan, Iturrigori).

La présence de minerais dans ces niveaux différents suffit, dès à présent, à nous faire prévoir que le fer n'est pas contemporain des couches encaissantes, mais postérieur.

Les grès micacés du mur sont d'un gris brun, qui devient jaunâtre à l'air ; on n'y a trouvé, comme fossiles, que quelques Turbo Reauscianus et Ostrea Conica. Ils paraissent cénomaniens.

Les calcaires du toit contiennent une assez grande quantité de fossiles tellement adhérents à la roche, qu'on a peine à les reconnaître. On y a cependant distingué des Requienia et des Terebratules. On les considère, ainsi que les marnes supérieures, comme déjà turoniens.

Au-dessus de ces calcaires, viennent des couches de grès et calcaires argileux passant à la marne, appelée dans le pays *cayuela,* où les fossiles sont, au contraire, assez abondants, en particulier des rudistes : Sphærulites Foliacus, Caprina Verneuilli, Radiolites Lumbricalis, etc...

Le minerai le plus riche a été trouvé dans le calcaire (Triano, etc.). « La caliza es la madre del mineral, » disent les mineurs. Mais, là même, tantôt le fer s'est substitué complètement au calcaire et a pour mur les schistes, pour toit les calcaires marneux ; tantôt il est en amas dans le calcaire subsistant.

Sommorostro, où sont quelques-unes des principales mines,

[1] Nous donnerons plus loin, page 794 le sens précis de ces mots rubio, campanil, etc.

(fig. 134) est environ à 12 kilomètres de Bilbao, sur la rive gauche de la rivière. Le gisement principal, qui s'y trouve à *Ventura*, *Triano*, etc., est assez irrégulier. Son grand axe est à peu près suivant la direction des calcaires, du N.-E. au S.-O., et son prolongement rencontre les gîtes de Iturrigorri, Miravilla, El Moro, Ollargan, etc. Sa longueur est de 4 000 mètres; sa largeur très variable : au mont Triano, elle atteint 1 000 mètres; à San-Lorenzo, elle n'est que de 150.

Séparé de Sommorostro par le barranco (ravin) de Granada, se trouve le Criadero (gîte) de *Orconera*, qui a 2 000 mètres de long et près de 750 de largeur maxima.

Autour de ce grand gîte de Triano, composé principalement de minerai campanil, on rencontre, dans le calcaire, un grand nombre de veines et de poches de minerai de fer.

La coupe (fig. 135) montre comment le calcaire apparaît au Sud du côté du mont Triano. Au Nord, le minerai est recoupé par une faille et on suppose que la lentille se prolonge sous plus de 30 mètres de marne; ce prolongement serait alors une réserve pour l'avenir.

Le pendage du gîte, analogue à celui de la craie, est de 10 à 15 degrés vers le Nord. Son épaisseur varie beaucoup. Dans la concession de San-Miguel, elle atteint près de 30 mètres; à la Bomba, de même ; au Sud-Est, elle est plus faible. De Yarza a estimé, en 1879, la puissance moyenne à 15 mètres et son cubage à 103 millions de tonnes; mais ces évaluations de tonnage sont toujours très approximatives. Le gisement est aujourd'hui presque épuisé.

Minerais. — Le minerai comprend trois variétés :

1° Celle appelée *campanil* (cloche), à cause de la sonorité de ses morceaux, est rouge pourpre et renferme de beaux rhomboèdres de spath calcaire. C'est la variété la plus recherchée quoiqu'elle contienne un peu moins de fer que les autres, parce que le minerai est moins siliceux et renferme une moindre quantité d'eau. Son prix de vente est toujours d'un franc supérieur à celui des autres variétés.

2° La *vena* est un minerai principalement de surface qui

recouvre le rubio (voir plus loin). Elle est tendre, de couleur rouge sombre avec une structure rhomboédrique très apparente et d'une grande pureté.

3° Le *rubio*, de couleur brune ou jaunâtre, est, en général, plus dur que la vena ; à l'état de pureté, il a une teneur en fer égale et même supérieure à celle de la vena, mais il est fréquemment souillé d'argile et sa structure caverneuse rend son exploitation difficile ; sur certains points, il se charge, en outre, surtout en profondeur, de matières siliceuses dont la présence nécessite un tirage soigné.

Voici trois analyses :

	Campanil.	Vena.	Rubio.
Oxyde de fer (Fe^2O^3)	80	89,28	77,85
Oxyde de manganèse	1	2,78	0,70
Alumine	3,10	1,03	
Chaux	8	3,60	0,50
Magnésie	0 à 1	»	
Acide carbonique	3	»	0,40
Perte	3		10,60
Eau	1	2,22	10,00
Résidu insoluble			
Soufre	0,07		0,09
Phosphore	traces		0,02
Silice		1,07	

Ces minerais sont disposés de la manière suivante :

Le *campanil* n'a été rencontré que dans les districts du centre où il se présentait en quantités relativement faibles, et est devenu rare. Il formait, comme nous venons de le voir, la grosse lentille du plateau de Triano de 4 kilomètres de long, 1 500 mètres de large et 15 mètres de puissance.

La *vena* a été recherchée autrefois parce qu'elle est très facilement réductible par les anciennes forges catalanes. On la trouve parfois en amas isolés reposant sur le calcaire et le campanil, mais elle est surtout en veines isolées dans le campanil ou le rubio.

Enfin le *rubio* semblerait avoir une origine différente de celle des variétés précédentes, et a été rattaché aux filons reconnus dans les Pyrénées depuis les Asturies jusqu'en Aragon, qui ont tous une orientation à peu près constante et dirigée N. 30° O.

Ces filons, qui sont rarement exploitables en profondeur, sont recouverts de chapeaux formant des amas parfois assez considérables et où l'on a trouvé des moules de Cerithium Giganteum.

A Ollargan et à Castrajena, presque toute la masse est formée de rubio.

Enfin il existe du *fer carbonaté* en un certain nombre de points, quoique, jusqu'ici, il ne soit pas entré en ligne de compte dans la production. On a pu constater que le campanil était parfois en relation avec de véritables filons de minerai spathique et qu'il y avait passage insensible de l'un à l'autre.

Mode de formation du gisement. — On a supposé que le campanil était le minerai le plus ancien, peut-être à peu près contemporain du calcaire sur lequel il repose et, par suite, crétacé. Il aurait été produit par décomposition du carbonate qui dominerait en profondeur et dont on retrouve, en effet, de nombreux fragments au milieu de lui. Cependant M. Cszyskowski, qui a fait une étude de ces gîtes, le considère, aussi bien que les autres, comme tertiaire, probablement éocène.

Il s'appuie : 1° sur ce que les failles, affectant les deux étages crétacés, sont minéralisées (ce qui pourrait s'expliquer par une sécrétion secondaire) ; 2° sur ce que le calcaire est corrodé en forme d'aiguilles au milieu du minerai : ce qui prouve une action chimique ; 3° et avant tout, sur ce que le fer se trouve à la fois dans les grès, calcaires et marnes, et est, par conséquent, au moins sous sa forme actuelle, postérieur à tous trois.

On aurait donc affaire à un gîte de substitution produit par des épanchements éocènes : partant de cette hypothèse, on a quelquefois cherché à retrouver en profondeur, sous les amas superficiels, le filon originel, qui aurait amené le minerai : à Morenos et ailleurs, on est arrivé ainsi au grès stérile.

Quoi qu'il en soit, le rubio et la vena semblent bien postérieurs au campanil : la vena, plus récente que tous les autres minerais, pourrait provenir d'un remaniement postérieur.

Bibliographie.

1879. Ramon Adan de Yarza. — Apuentues geologicos acerca del Criadero de hierro de Sommorostro. (*Boletin del mapa geologico*, t. IV.)

1879. Baills. — Note sur les mines de fer de *Bilbao*. (*Ann. d. M.*, 7e série, t. XV, p. 209.)

1879. Bourson. — Mines de Sommorostro. (*Rev. univ.*, t. IV, p. 2.)

1880. Baills. — Nota sobre las minas de hierro de *Bilbao*. (*Boletin de la Comision del mapa geologico de Espana*, t. VI, p. 304, Madrid, 1880.)

1880. Eug. Bourson. — Las minas de *Sommorostro*. (*Boletin de la Comision del mapa geologico de Espana*, t. VI, p. 287, Madrid, 1880.)

1880. Caron. — (*Zeitsch. fur d. b. u. H.*, p. 134.)

1882. Iron and steel institute.

1883. Revaux. — Les mines de Bilbao. (*Le génie civil.*)

* 1884. Cszyskowski. — Bul. Soc. Ind. Min. p. 503.

1884. Hock. — Mines de fer de l'Espagne. (*Cuyper*, t. V, p. 510.)

1888. Gandolfi. — Mines de Sommorostro. (*Cuyper*, t. IV, p. 16.)

1888. Habets. — Mines de Bilbao. (*Cuyper*, 1888, t. IV, p. 1.)

1889. Soc. franco-belge des mines de Sommorostro. (Notice pour l'exposition de 1889.)

FER EN GRAINS, OLIGOCÈNE, DU BERRY[1]

(Poches superficielles d'argile avec fer en grains dans le calcaire jurassique.)

Il existe, en diverses régions de la France, des gisements de fer d'un type spécial consistant en poches superficielles, creusées dans les calcaires et remplies d'un argile rouge à grains de fer hydroxydé. Ces grains d'oxyde de fer, d'une couleur ocreuse et formés de zones concentriques, ne dépassent guère 7 à 8 millimètres de diamètre. Le meilleur exemple de ce genre de gisements et celui qui a eu la plus grande importance industrielle se trouve dans le Berry. Nous aurons à en décrire un autre en Meurthe-et-Moselle.

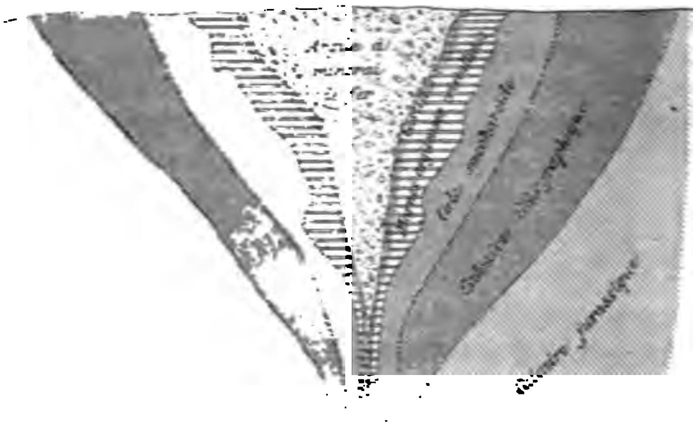
Les minerais de fer en grains du Berry ont été étudiés en grand détail par M. de Grossouvre qui a distingué trois classes de gîtes : poches à la surface, gîtes souterrains calcaires ou argileux.

[1] Coll. *Ecole des Mines*, 1931.

Les *gîtes superficiels ou poches* consistent simplement en amas logés dans des cavités superficielles du calcaire jurassique, affleurant par suite au jour, ou seulement recouverts d'un limon sableux mêlé de graviers.

Les cavités présentent toutes ce caractère général d'être évasées par la partie supérieure et de se rétrécir par le bas.

Leur remplissage proprement dit est formé d'une argile plastique ocreuse, veinée de blanc, dite *terrace*, dans laquelle sont empâtés les grains de minerai.



[illegible]

Autour de cette poche argileuse (fig. 138), la poche présente une série de zones concentriques, en relation incontestable avec des actions chimiques qui auraient progressivement corrodé le calcaire.

D'abord, autour de l'argile à minerai, on trouve des grains de minerai empâtés dans une recristallisation du carbonate de chaux, formant des marnes dures dites [illegible], de plus en plus appauvries en minerai à mesure qu'on s'éloigne de la poche proprement dite et passant alors à des marnes argileuses cristallines contenant fréquemment de petits noyaux de calcaire lithographique, [illegible] à la surface. Puis viennent des calcaires saccharoïdes, les calcaires lithographiques et enfin les calcaires jurassiques sous leur aspect habituel.

Ces actions chimiques sont bien mises en évidence sur la tranchée du chemin de fer de Montluçon à Bourges aux environs de Lunery.

On y voit, très nettement, le passage du calcaire jurassique à l'argile à minerais de fer s'établir par un calcaire attaqué et saccharoïde contenant des blocs anguleux encore intacts; puis, progressivement, par une zone où, au contraire, l'ensemble étant du calcaire jurassique franc, le métamorphisme a commencé seulement à s'exercer sur des directions de fissures où il y a eu transformation en calcaire saccharoïde. Le changement de faciès du calcaire au contact des poches à minerai de fer est si profond que, dans les minières où ce calcaire métamorphique forme le

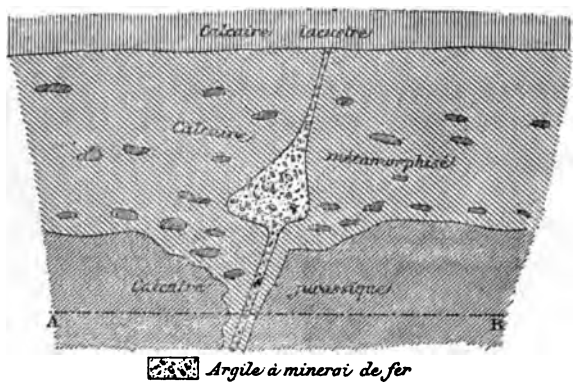


Fig. 139. — Coupe d'un gîte souterrain calcaire.

toit et est surmonté à son tour (fig. 139), par du calcaire lacustre tertiaire du Berry (équivalent du calcaire du Brie), on a pris longtemps ces premiers bancs du calcaire supérieur encore jurassique pour du calcaire tertiaire et on en avait tiré des conclusions théoriques. Dans certains cas, cette zone altérée, qui forme le toit, présente absolument l'aspect d'une roche détritique. Il est, d'ailleurs, inutile d'insister sur ces phénomènes d'altération, tout le monde étant d'accord aujourd'hui pour admettre le mode de formation par précipitation chimique des dépôts de fer en grains, et le seul point en discussion étant de savoir si les eaux métallifères sont arrivées par en haut ou par en bas.

Ces poches que nous venons de décrire ont des dimensions très

variables avec une profondeur dépassant 15 à 20 mètres[1]. Le minerai s'y trouve généralement concentré dans la partie inférieure, tandis qu'au-dessus domine une argile jaune veinée de blanc, présentant, aussi bien que le terrage lui-même, les caractères d'un dépôt chimique.

On a souvent trouvé, à leur base et dans leur prolongement, la fissure même par laquelle on a supposé que les eaux avaient dû s'élever et qui peut n'être également que la diaclase primitive élargie par les eaux chimiques au voisinage de la surface.

Au lieu de venir affleurer au jour, les gisements peuvent être restreints en profondeur et complètement encaissés dans des roches calcaires : à Dun-le-Roi, par exemple. Dans ce cas, on observe que l'argile sidérolithique s'est épanchée horizontalement (fig. 140)

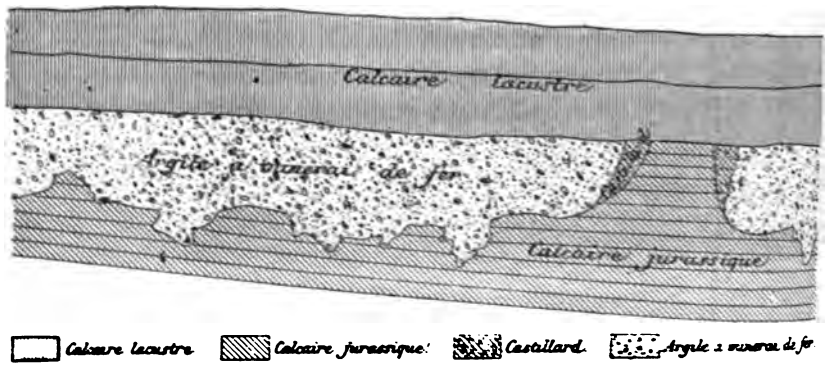


Fig. 140. — Coupe d'une nappe d'argile sidérolithique à Dun-le-Roi.

sur la surface du calcaire jurassique qu'elle a très visiblement corrodé et qui forme, au milieu d'elle, une série d'îlots. Les sillons de corrosion suivent des directions assez régulières correspondant aux fissures préexistantes des calcaires. Ces amas sont en liaison manifeste avec les poches précédemment décrites.

Il arrive, d'ailleurs, qu'au lieu d'avoir une nappe continue de minerai, on se trouve en présence d'une nappe d'argile stérile au milieu de laquelle existent, principalement à la partie inférieure au voisinage du calcaire, des amas de minerais [2].

[1] Comparer les poches de phosphorite du Quercy, p. 348.

[2] On a ainsi tous les passages à l'argile sidérolithique stérile que nous avons décrite dans une note sur la vallée du Cher dans la région de Montluçon. *Bull. carte géol.*, avril 1892.

Enfin le fer en grains peut se trouver à l'état de pseudo-filons (fig. 141) ou plutôt d'amas horizontaux allongés comme des sortes

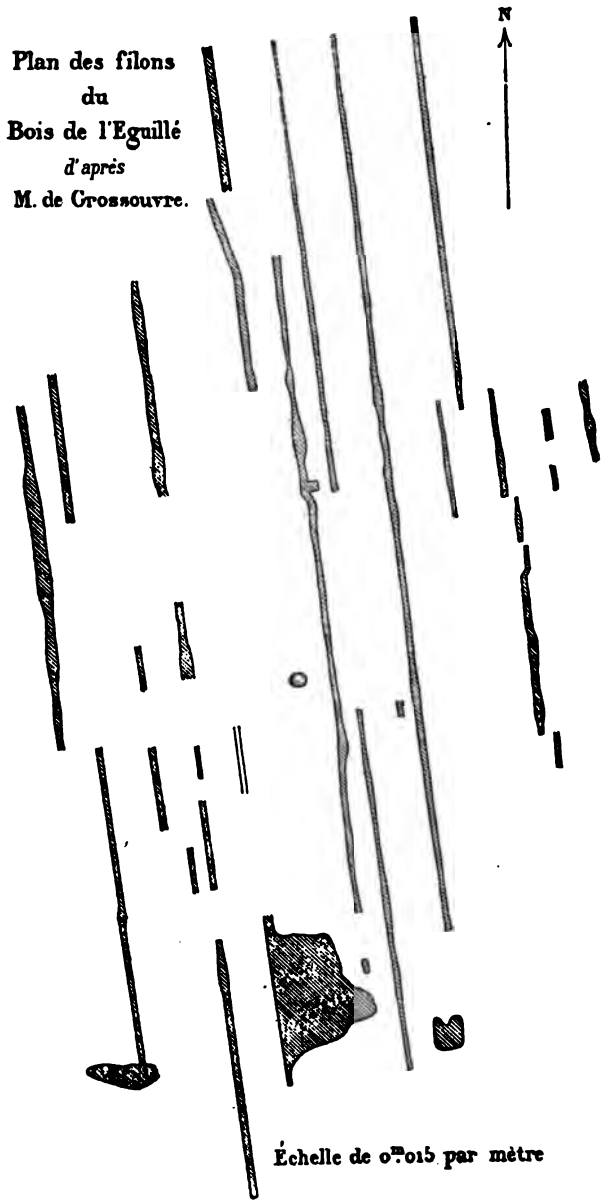


Fig. 141.

de boyaux sinueux dans des crevasses calcaires d'une grande lon-

gueur. Ces filons présentent alors[1], comme les filons de calamine et comme tous ceux qui se sont formés par corrosion des calcaires, des renflements, des amas aussi bien en plan qu'en coupe.

Mode de formation des gisements. — Si nous cherchons à expliquer la genèse de ces gîtes, nous sommes en présence de plusieurs théories.

Une première hypothèse, assez en faveur, est celle de M. Van Den Brœck attribuant ces dépôts sidérolithiques, ainsi que l'argile à silex, etc., exclusivement à l'action des eaux météoriques chargées d'acide carbonique sur la craie; les directions constatées résulteraient alors simplement des cassures superficielles ou profondes de la craie.

Si l'on fait en poids le calcul de l'épaisseur du calcaire jurassique qu'il aurait fallu dissoudre pour constituer la nappe sidérolithique du Berry, on arrive, en effet, à une épaisseur de 60 à 80 mètres, ce qui n'a rien d'invraisemblable.

En outre, il est certainement assez bizarre que des formations filoniennes d'épanchement hydrothermal semblent aussi étroitement liées au voisinage de la surface et présentent toujours cet épanouissement vers le haut. Des coupes comme celles de Dun-le-Roi (fig. 140) prouvent nettement que, là au moins, la corrosion est partie d'en haut.

Cependant la théorie hydrothermale a été soutenue avec beaucoup de vivacité par M. de Grossouvre qui a étudié les gisements sur place avec sa compétence connue et qui s'appuie sur les faits suivants :

1° Le calcaire étant toujours de composition identique, comment la nappe argileuse, si elle en provient directement, est-elle de composition si absolument dissemblable d'un point à un autre?

2° Il suffit, d'après M. Van Den Brœck lui-même, d'une faible épaisseur d'argile formée par action météorique pour préserver le sous-sol d'une continuation de l'attaque. Comment, dès lors, aurait-il pu s'en déposer 30 mètres?

3° Les argiles résultant du météorisme sont toujours rouges et

[1] Voir plus haut, page 350.

le fer y est toujours peroxydé. D'où viendrait alors l'argile blanche, semblable à un véritable kaolin, constatée dans le sidérolithique ? D'où viendraient des poches de carbonate de fer qu'on y a trouvées ? Enfin le microscope y prouve la présence de quartz, tourmaline, rutile, qui ne se présentent pas dans le calcaire ; il y a donc eu apport, et apport assez lointain, puisque les parois granitiques de la cuvette sont fort éloignées...

4° On trouve du zinc, du cobalt, du plomb dans le sidérolithique ; ce qui n'est pas non plus très normal pour un résidu de calcaire, quoique à ce point de vue les expériences de M. Dieulafait, montrant la grande diffusion de ces métaux, puissent fournir une explication relativement plausible.

Donc il y aurait eu épanchement chimique à la surface du calcaire, et épanchement en relation avec des sources.

L'existence de ces sources chaudes nous semble prouvée par bien des faits observés sur l'ensemble du terrain sidérolithique dans le Berry et le Cher. Ce terrain résulte assurément, en grande partie, d'actions sédimentaires ; mais ces actions sédimentaires ont été très spéciales puisqu'on y rencontre, presque à l'état normal, des cailloux de quartz anguleux soudés les uns aux autres par un ciment siliceux[1] ; parfois même, lorsqu'on approche des bords du bassin, soudés au micaschiste qui en formait le fondement, et puisque la silice y est assez abondante pour s'isoler, de tous côtés, en noyaux calcédonieux.

Nous sommes donc porté à admettre que des sources thermales alcalines et chargées d'acide carbonique, pouvant à la faveur de cet acide carbonique dissoudre de la silice et du calcaire, ont joué un rôle important à cette époque. Il est possible qu'elles aient apporté du sulfure de fer, transformé près de la surface en sulfate, ayant alors, par son acide sulfurique, corrodé le calcaire en même temps qu'il précipitait son fer en présence de la chaux ; il est également possible qu'elles aient simplement emprunté ce fer au calcaire. En tout cas, dans la très grande majorité des gisements, ce n'est pas aux fissures ayant amené ces sources que nous avons affaire ; mais, une fois répandues sur le sol, ces eaux ont

[1] Les galets roulés sont exceptionnels.

profité de toutes les diaclases existant dans le calcaire pour les élargir par en haut. Ce qui a dû se produire alors, nous le voyons nettement par l'étude entrepris dans eles avens et grottes des Causses par notre ami M. Martel[1]; là les cavités, creusées par en haut, n'ont pas été remplies de minerai, mais nous trouvons des galeries comparables aux filons du bois de l'Eguillé ou des minières de Prunet, des avens[2] analogues aux poches en entonnoirs du Berry, des grottes offrant une disposition qu'on avait crue[3] réservée exclusivement aux cavités creusées par en bas (en entonnoirs superposés tous la pointe en haut), etc.

Quant à l'*âge* exact de ces minerais, indiqué par leur liaison intime avec le calcaire superposé, il est, d'après M. de Grossouvre, non pas éocène, comme on l'a dit, mais oligocène.

Statistique. — Au point de vue industriel, ces minerais du Berry, exploités depuis l'époque romaine, ont eu une grande période de prospérité vers 1848. La dernière minière avait été fermée en 1886. La hausse du fer en 1890 en a fait rouvrir quelques-unes et, en 1890, le département du Cher a produit 54 000 tonnes de minerai, valant 486 000 francs.

Les groupes principaux étaient autrefois :

1° Groupe de l'Est ou de l'Aubois ayant alimenté les usines de Torteron, Feulardes, la Guerche, Précy et celles de l'Allier. L'extraction s'est élevée à 60 000 tonnes ;

2° Groupe de l'Ouest ; vallées de la Yèvre et de l'Arnon, peu importantes ; vallée de l'Auron (la Chapelle Saint-Ursin et Dun-le-Roi) ayant donné 40 000 tonnes ; vallée du Cher (Saint-Florent et Chanteloup).

L'analyse d'un minerai moyen donne :

Silice	Alumine	Peroxyde de fer	Chaux	Soufre	Phosphore
10,60	12.10	58,70	1,20	traces	0,20

[1] Voir : L. de Launay et E.-A. Martel. Sur la formation des grottes. (*B. S. G.*, 3e, t. XI, p. 14.)

[2] Quelques-uns, de 2 ou 3 mètres à peine de diamètre, s'enfoncent verticalement à 100 et 150 mètres de profondeur.

[3] M. Stanislas Meunier.

FER EN GRAINS DE MEURTHE-ET-MOSELLE

(Poches de fer en grains dans l'oolithe inférieure.)

Nous rapprochons des gisements du Berry, à cause de leur analogie, des poches de minerai de fer en grains qu'on a exploitées

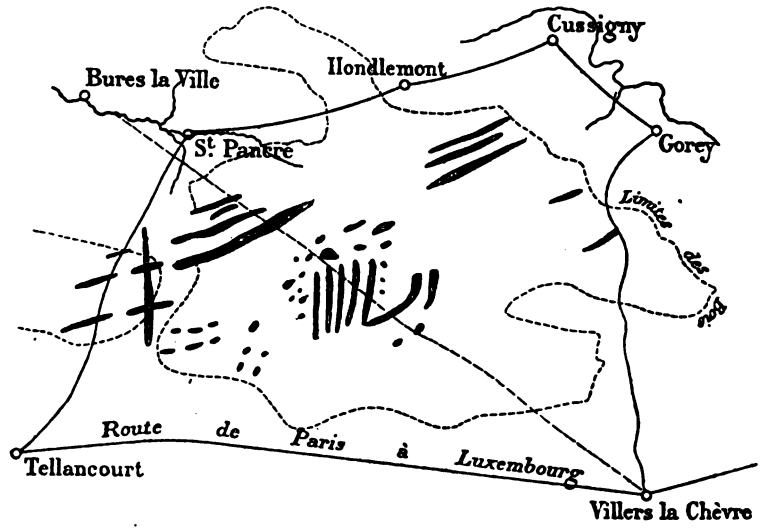


Fig. 142. — Plan des gisements de fer de Saint-Pancré.

autrefois en Meurthe-et-Moselle, à Saint-Pancré, Chavigny, etc... Ces poches n'étant pas, comme celles du Berry, recouvertes par un

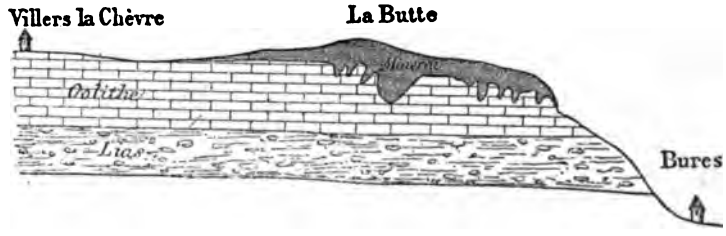


Fig. 143. — Coupe de Saint-Pancré.

autre terrain qui donne une limite supérieure précise de leur âge, il est possible qu'elles soient, en réalité, plus récentes que l'oligo-

cène, peut-être même quaternaires, comme on est porté à le croire pour les poches superficielles de la Haute-Marne, comme les Allemands l'ont admis pour le prolongement de ces gîtes de Meurthe-et-Moselle en Alsace-Lorraine. Certains ossements qu'on dit y avoir trouvés conduiraient, en effet, à adopter cette hypothèse ; mais il a pu arriver qu'on les ait rencontrés dans un remaniement postérieur qui a eu lieu à la surface.

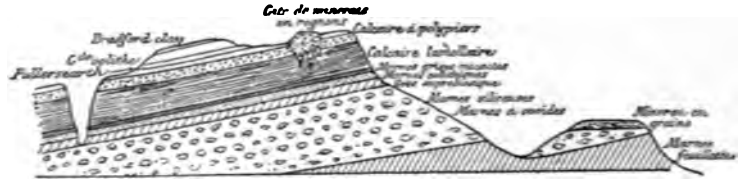


Fig. 144. — Coupe des gîtes de fer de l'arrondissement de Briey et Thionville.

Quoi qu'il en soit, ces minerais de fer fort, très recherchés autrefois en raison de leur faible teneur en phosphore, ont été exploités à Chavigny, Saint-Pancré, etc., jusque vers 1880.

Le minerai s'y trouve dans des poches ou entonnoirs d'où partent des boyaux et corridors souterrains (fig. 145). La plupart de ces poches sont alignées suivant les cassures de la région E. 21 N et N S. Elles sont remplies d'une argile sableuse jaune rougeâtre ou rouge contenant des grains de minerai.

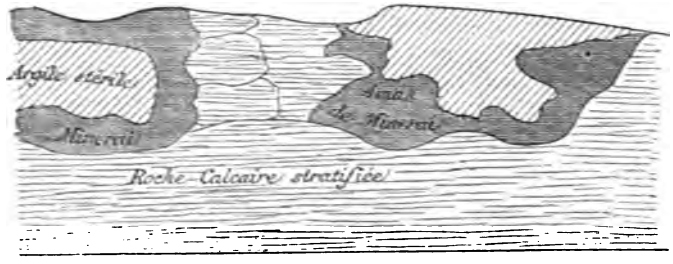


Fig. 145. — Coupe des minerais de fer en grains de Ville-Hondlemont.

Les minerais riches, dont la teneur en fer varie de 35 à 54 p. 100, sont formés d'hydroxyde de fer à poussière jaune ou rouge brun généralement caverneux, à gangue quartzeuse et dont les cavités sont fréquemment tapissées d'une multitude de cristaux de

quartz. Il existe, en outre, des blocs de quartz opaques et tous les intermédiaires entre ceux-ci et les minerais quartzeux.

On a exploité, à *Florange* et à *Russange,* des gîtes de fer d'un autre genre intercalés dans le diluvium.

Ces gîtes se composent : d'hématite brune en fragments aplatis, émoussés seulement sur les angles et que l'on désigne sous le nom de plaquettes ; de morceaux de fer oxydé bruns ; de petits grains arrondis et brillants d'hydroxyde de fer analogue à ceux qui composent les couches du lias[1] et enfin de débris roulés de roches calcaires. Le dépôt n'a jamais plus de quelques mètres d'épaisseur ; il est recouvert par le limon jaune diluvien qui renferme également de nombreux fragments de la roche ferrifère. Sa gangue est un sable micacé.

Ces dépôts sont des gîtes d'alluvion provenant de la destruction et du lavage de gîtes appartenant au toarcien et à l'oolithe ; le sable résulte lui-même de la destruction du grès supraliasique.

Leur position vient confirmer cette idée ; ils sont, en effet, déposés aux pieds des escarpements aux dépens desquels ils ont été formés, et qu'ils entourent comme une ceinture.

Sauf en deux points, leur exploitation n'a jamais pris grande extension, en partie à cause de la proportion notable d'acide phosphorique qu'ils contiennent.

Bibliographie des minerais de fer en grains, tertiaires.

1799. Minière de *Poissons* (*Haute-Marne*). (*Journal des Mines*, an VI, t. VIII, p. 521.)

1821. Mérian. — Minerai d'*Aarau*. (*Beitrage zur Geognosie*. Bâle, t. Ier, p. 150.)

1828. Voltz. — Géognosie des deux départements du *Rhin*. Strasbourg.

1828. Thiria. — Minerais de la *Haute-Saône*. (*Ann. d. M.*, 2e série, t. V.)

1828. Brongniart. — Sur les brèches osseuses et les minerais de fer pisiformes. (*Ann. sc. nat.*, t. XIV, p. 531.)

1829. Brongniart. — Tableau des terrains qui composent l'écorce terrestre.

1831. Malinvaud. — Minerais du *Cher*. (*Ann. d. M.*, 3e, t. IV, p. 247.)

1832. Walchner. — Sur les minerais de *Candern en Brigau*. (*Mém. Soc. Hist. nat.* Strasbourg, t. I, 2e liv.)

[1] Voir plus haut, page 777.

1834. THIRIA. — Sur les minerais du *Doubs*. (*Bull. Soc. géol.*, t. IV. p. 32.)

1834. DUFRÉNOY. — Mémoire sur les terrains secondaires du *midi de la France*. (*Ann. d. M.*, 3e, t. VI. p. 326.)

1838. ROZET. — Minières de *Beire-le-Châtel* (*Côte-d'Or*). (*B. S. Géol.*, 1re, t. IX. p. 148 ; X, p. 64.)

1838. THIRIA. — Minières de *Magny* (*Côte-d'Or*). (*B. S. Géol.*, 1re, t. IX. p. 375. et *Ann. d. M.*, 3e. t. XV. p. 11.)

1838. DROUOT. — Minières de *Dordogne*. (*Ann. d. M.*, 3e, t. XIII.)

1851. THIRIA. — Minerais de la *Franche-Comté*. (*Ann. d. M.*, 4e, t. XIX. p. 49.)

1855. FOUR. — Sur les dépôts de fer pisiformes de la *Haute-Saône*. (*B. S. G.*, 2e, t. XII, p. 231.)

1855. GREPPIN. — Notes géol. sur les terrains du *Jura Bernois*.

1857. COURROUX. — Sur les mines de fer de *Delémont* (*Suisse*). (*B. S. Ind. min.*, t. III, 2e liv.)

1858. BEAU. — Minières de l'*Aubois*. (*B. S. G.*, 2e, t. XV. p. 677.)

1866. TOURNOUER. — Minerais de *Côte-d'Or*. (*B. S. G.*, 2e, t. XXIII. p. 782; *B. S. G.*, t. XXIV, p. 288 et 1017. t. XXIX. p. 836.)

JACQUOT. — Sur les gites ferrifères du département de la *Moselle*.

CORNUEL. — Minerai de *Poissons* (*Haute-Marne*). (*Mém. Soc. géol.*, 1re, t. IV, p. 273.)

1871. LEVALLOIS. — Sur le minerai de fer en grains. (*B. S. G.*, 2e, t. XXVIII. p. 183.)

1878. Exposition de Paris. (*Notices du corps des mines.*)

1878. DOUVILLÉ. — Sables granitiques de Vernon. (*Bull. Soc. géol.*, 3e série, t. VI.)

* 1881. VAN DEN BROECK. — Mémoire sur les phénomènes d'altération de dépôts superficiels. (Bruxelles, 1881.)

1884. CSZYSKOWSKI. — (*B. Soc. Ind. min.*, 2e, t. XIII. p. 481.)

* 1886. DE GROSSOUVRE. — Gisements de fer en grains du centre de la France. *Ann. d. m.*, 1886.

* 1887. DAUBRÉE. — Eaux souterraines anciennes. p. 82.

* 1888. DE GROSSOUVRE. — Sur l'origine du terrain sidérolithique. (*B. S. G.*, 3e, t. XVI, p. 287.

1889. STANISLAS MEUNIER. — Sur la bauxite et les minerais sidérolithiques. *B. S. G.*, 1889. p. 64.)

FER DE L'ILE D'ELBE[1]

Couches de fer oligiste épanchées sur des schistes ou substituées à des calcaires.

Nous avons dit, à propos des gisements de fer de Bilbao, comment certains auteurs avaient été conduits à y voir le résultat

[1] Coll. *École des Mines*, 1933.

d'épanchements ferrugineux tertiaires ayant localement agi, par substitution, sur des calcaires ; de même, pour les fers en grains oligocènes du Berry, nous avons exposé la théorie de M. de Grossouvre, d'après laquelle leur origine serait attribuable à des sources ferrugineuses. Des actions de ce genre, c'est-à-dire des coulées superficielles d'eaux chargées de fer ayant déposé le métal, soit dans toutes les fentes ouvertes, sur les terrains résistants, soit à l'intérieur des terrains attaquables, paraissent avoir contribué assez nettement à la formation de trois gîtes qu'il nous reste à étudier : l'île d'Elbe, la Tafna et Tabarka. A l'île d'Elbe, il s'y joint d'ailleurs des intrusions accompagnées de phénomènes de substitution.

Géologie du pays. — La partie Est de l'île d'Elbe, qui contient les riches gisements de fer exploités depuis l'antiquité, se compose surtout de schistes micacés (primitif ou cambrien) avec intercalations de calcaire et de dolomie, recouverts par des schistes du silurien supérieur, des poudingues (verrucano) permiens, au-dessus desquels arrivent enfin des représentants de l'infralias et de l'éocène. Comme roches, on trouve, à l'île d'Elbe, vers Rio, entre les calcaires primaires et les schistes siluriens, une couche interstratifiée de serpentine considérée comme silurienne ; puis des roches ophiolithiques éocènes (serpentines, euphotides et diabases) recouvertes en beaucoup de points de jaspes parfois manganésifères à radiolaires ; enfin, à l'Ouest de l'île, au mont Caparme, des granites récents et microgranulites qui métamorphisent l'éocène.

Gisements. — Les grandes mines, situées le long de la côte Est, sont, du Nord au Sud : Rialbano, Rio, Terra-Nera et Calamita.

Le minerai est principalement du fer oligiste, avec des hématites inexploitées et une très petite quantité de magnétite.

La disposition des gisements est assez particulière ; il semblerait résulter des dernières études qu'il n'existe ni filons ni gîtes réellement intercalés comme on l'a dit (Von Groddeck, par exemple[1]),

[1] L'étude de ces gîtes est rendue difficile par la présence de gigantesques et très anciennes haldes.

mais simplement des couches superficielles résultant, soit d'un simple dépôt sur des schistes (cambrien, permo-carbonifère, lias supérieur), soit d'une substitution au calcaire caverneux. A Rio, le minerai a pris la place des calcaires infraliasiques et repose sur des schistes permo-carbonifères; à Rialbano ou Calendozio, il est sur le permien et le lias supérieur ; à Calamita et Terra-Nera, sur le cambrien. Lorsque ces minerais occupent la place du calcaire, on remarque qu'ils sont plus purs que s'ils reposaient sur des schistes.

On a également observé que l'allure des dépôts était en rapport avec la structure orographique de la région : ce qui, en dehors de toute autre preuve, indiquerait leur âge récent. Ainsi, à Rio-Albano, le dépôt de fer part du sommet de la montagne de Palendozio et se prolonge sans discontinuité vers la mer en suivant plusieurs thalwegs des versants oriental et occidental [1].

M. Cszyskowski, qui a étudié les gisements avec M. Lotti, admet, dans chacun d'eux, à Rio par exemple, la superposition de plusieurs dépôts successifs, qu'on voit surtout à Calamita :

1° Argile parfois pyriteuse, résultant de la décomposition des schistes ou déposée par l'eau minérale qui a amené le fer. Dans certains quartiers, le sulfure de cuivre y est abondant, à Calamita par exemple ; mais ce cuivre parait être postérieur. Aux sulfures s'ajoute de la limonite ;

2° Dépôt de fer oligiste spéculaire friable, constitué d'une agglomération de cristaux cimentés par de l'argile ferrugineuse, renfermant parfois d'assez gros blocs purs ;

3° Des hématites avec argile ferrugineuse passant quelquefois à un conglomérat exploité sur le versant de Rio ;

4° Fer magnétique assez rare.

Les minerais apparaissent dans des terrains d'âge très variable, généralement avec des schistes au mur, des calcaires au toit, parfois au milieu même du calcaire ; ils sont accompagnés de silicates ferrocalciques résultant, non d'une action éruptive comme on l'a parfois supposé, mais d'un métamorphisme exercé sur les calcaires présiluriens.

[1] M. Cszyskowski a avancé, pour Bilbao, un fait du même genre.

En résumé, il paraît s'être produit, après l'éocène, des épanchements ferrugineux ayant souvent coulé à la surface, s'étant introduits fréquemment de haut en bas dans les strates, et qui ne paraissent pas accompagnés de véritables filons. Maintenant ces gîtes sont-ils uniquement limités à la superficie comme on l'a prétendu, comme semblerait le faire croire l'épuisement rapide de Terra-Nera, où pourtant on avait une apparence d'interstratification? c'est ce qu'il est difficile d'affirmer : il est très possible, en effet, que les eaux ferrugineuses aient une origine première profonde, et se soient épanchées latéralement, avant d'arriver au jour, dans les calcaires rencontrés par leur ascension, comme elles l'ont fait plus tard à la surface.

On a cherché autrefois à rattacher les minerais de l'île d'Elbe, soit aux granites tertiaires, soit aux serpentines ou aux porphyres éocènes. En fait, il ne semble y avoir de relation du minerai qu'avec une roche de silicates verts, pyroxénique et épidotique, dont la nature est elle-même très problématique : due aux sources et résultant d'un métamorphisme du calcaire d'après Lotti, éruptive pyroxénique d'après M. Cszyskowski. La première hypothèse nous paraît la plus vraisemblable. Il s'est développé, au contact de cette roche et du gisement, des minéraux analogues à ceux du Banat : amphibole, liévrite, ilvaite.

Principaux gîtes. — Nous dirons successivement quelques mots des divers gîtes, Rio-Albano, Rio et Vigneria, Terra-Nera et Calamita.

Rio-Albano. — C'est le plus étendu et le moins connu de tous les gîtes de l'île d'Elbe. L'absence de *gettate* (haldes) fait penser qu'il n'a pas été attaqué par les anciens. Il n'est exploité actuellement que sur un point près du rivage. La figure 146 donne une vue du gîte prise de la mer.

Fig. 146. — Vue du gîte de Rio-Albano.
a, schistes noduleux riches en quartz; *b*, quartzites; *c*, schistes; *m*, minerai.

Le minerai recouvre le versant oriental, le faîte et le tiers supérieur du versant occidental du mont Calandoggio.

La puissance moyenne du gîte est de 10 mètres ; en quelques points, elle atteint 50 mètres. Son étendue superficielle est de

650 000 mètres carrés. A la mine de Pestello, le minerai apparaît dans un pilier isolé, intercalé entre le poudingue permien et le lias ; à celle de Poppajo, l'oligiste se montre en veines et lits dans les schistes liasiques qui recouvrent le permien.

Rio et Vigneria. — A Rio et à Vigneria, les exploitations sont très anciennes, comme le montrent des accumulations de haldes énormes (*gettate*). Le minerai s'y trouve dans le permien et dans les calcaires caverneux liasiques. Le gîte de Vigneria est presque épuisé ; celui de Rio remplissait autrefois, au-dessus des schistes permiens altérés, un bassin dit de la poudrière. La limonite forme une couche superficielle renfermant des fragments de calcaire liasique et résultant peut-être de leur substitution ; on la voit pénétrer dans les roches, comme le montrent les figures 147 et 148.

Fig. 147.

Fig. 148.

A peu de distance de Rio, et au contact du minerai proprement dit, il existe des bancs puissants de silicate ferrocalcique (pyroxène et épidote avec ilvaite) intercalés dans les calschistes présiluriens et qui paraissent provenir d'une ancienne formation schisto-calcaire imprégnée par les eaux ferrugineuses.

A *Terra Nera*, le gîte est tout à fait superficiel.

Enfin *Calamita*, qui a été longtemps regardée comme la mine la plus riche de l'île, présente des coupes naturelles qui peuvent éclairer sur l'origine des gisements : à l'Est du gîte, une pointe formée surtout de pyroxène et d'ilvaite s'appelle Punta-Nera (Pointe-Noire) ; à l'Ouest, le calcaire blanc dolomitique présilurien constitue la Punta-Bianca (Pointe-Blanche).

La figure 149 montre le calcaire présilurien pénétré par une formation métamorphique pyroxénique qui en renferme des lambeaux encore en place, et contenant des minerais de fer. Sur la figure 150, on voit l'allure générale les minerais de fer au milieu de cette sorte de gangue pyroxénique. La figure 151 montre, au contraire, une interstratification apparente de minerai de fer entre un calcaire présilurien et des schistes ; enfin, sur la figure 152, l'allure superficielle du fer est mise en évidence, il est accompagné là par une opale cuprifère qu'on trouve à Tombe-Blanche.

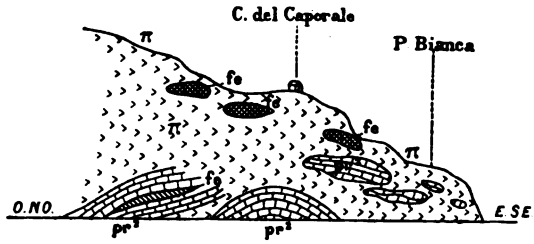


Fig. 149. — Coupe entre la Punta-Bianca et la Punta-Nera (île d'Elbe), d'après **M.** Lotti.

π, pyroxénite et ilvaite. — *fe*, minerai de fer. — *pr²*, calcaire présilurien.

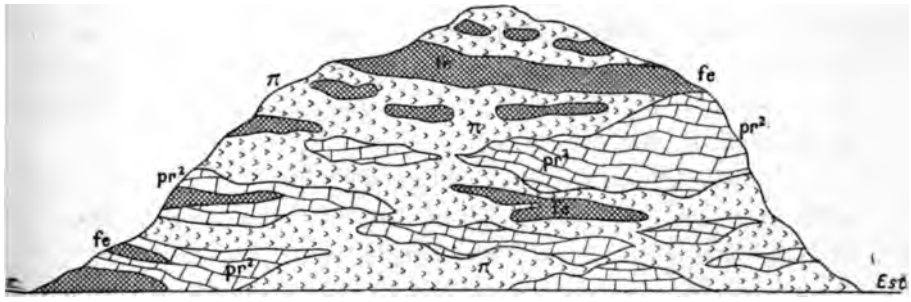


Fig. 150. — Coupe E. O. du gîte de l'île d'Elbe, d'après **M.** Lotti.

π, pyroxénite et ilvaite. — *fe*, minerai de fer. — *pr²*, calcaire présilurien.

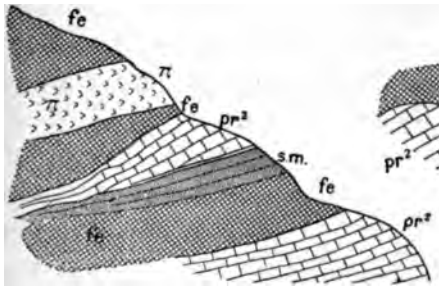


Fig. 151. — Coupe du gisement de l'île d'Elbe (côté du Vallon), d'après **M.** Lotti.

π, pyroxénite. — *fe*, hématite. — *sm*, schistes. *pr²*, calcaire présilurien.

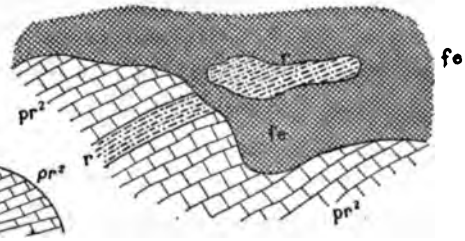


Fig. 152. — Coupe locale à l'île d'Elbe, d'après **M.** Lotti.

fe, minerai de fer. — *r*, résinite ou opale. — *pr²*, calcaire.

Minerais. — Les *minerais* sont de diverses qualités :

Andante. — Morceaux massifs à gangue douce.

Marmigno et *Scarto.* — Morceaux massifs à gangue quartzeuse.

Minuti lavati. — Produit de lavage des anciennes haldes qui constituent un minerai excellent et peu coûteux.

Puletta. — Sable à minces paillettes d'oligiste des plages de Rio.

La teneur en fer varie généralement entre 58 et 62 p. 100. Voici d'ailleurs trois analyses de minerais :

	Fer	Mn	CaO	MgO	Al^2O^3	SiO^2	S	Pb
Rio	61.81	0,050	0,220	0.340	3,470	5.970	0.170	0,008
Terra-Nera.	62.12	traces	0,166	0.169	0,582	3.649	0,113	»
Calamita. .	63.87	0,22	»	»	»	3.283	0.321	traces

Exploitation. — L'exploitation des mines de l'Elbe remonte à la plus haute antiquité et a déjà été mentionnée par Virgile. Depuis 1881, le gouvernement italien, propriétaire des mines, reçoit une redevance annuelle qui a d'abord été de 5 fr. 25 par tonne jusqu'en 1884, puis de 6 fr. 50.

De 1831 à 1881, les mines ont produit 3 430 000 tonnes. En 1880, la production était de 600 000 tonnes; depuis cette époque, elle est limitée, par traité, à 200 000 tonnes.

En 1885, M. le commandant Fabri a évalué la quantité de minerai restant dans l'île d'Elbe à 8 millions de tonnes, dont 2 000 000 d'*andante* à Rio, autant à Rialbano et à Calamita, 1 million de *lavati* et autant de *puletta*. C'est pourquoi l'on a restreint la production annuelle à un maximum de 200 000 tonnes afin d'assurer à l'Italie, pour soixante ans, un minerai national.

En 1885, la production a été de 175 000 tonnes à 62 p. 100, exportées surtout en Amérique. Le prix de vente était, à ce moment, de 1 à 12 francs rendu au bord de la mer.

En 1889, l'île a produit 96 429 tonnes ainsi décomposées :

[illegible]	Rio	[illegible]	[illegible]	Terra-Nera
41 [illegible]	15 [illegible]	16 263	13 333	6 432

Le prix de revient comprend :

	Andante	Lavato
Surveillance, abatage. . . .	3.20	1.00
Transports	1.10	0,35
Direction. . . .	0.25	0,05
Fournitures. . . .	0.30	0.30
	4,85	1.85

Bibliographie.

1836. Savi. — Sulla minera di ferro dell'isola d'Elba.
1840. Krantz. — Karsten's Arch., t. XV, p. 347.
1845. Burat. — Théorie des gîtes métallifères, p. 247.
1848. Gruner. — Sur un amas de fer oxydulé. (*B. S. G.*, t. VI, 2e.)
1852. (*Ann. d. M.*, t. I, p. 608.)
*1861. Cotta, p. 381.
1864. V. Rath. — (*Verhandl. d. natur. Vereins. d. pr. Rhein u. Westf.*, 1864, p. 89, et *Zeitschrift d. d. geol. Gesellsch.*, t. XXII, p. 702.)
1871. Cocchi. — Descr. geol. dell' isola d'Elba.
1876. Lotti. — Impressioni geol. di una breve gita all'isola d'Elba. (*Boll. geol.*, t. VII.)
1881. Groddeck, p. 175.
* 14 juin 1883. Lotti. — Carte géologique de l'île d'Elbe. (*Mém. à la Soc. toscane des sciences naturelles.*)
1883. Cszyskowski. — Expl. des régions ferrifères de l'île d'Elbe.
*1884. Cszyskowski, B. Soc. Ind. Min., p. 532.
*1886. Lotti. — Memorie descr. della carta geol. d'Italia (isola d'Elba), 2 v. in-8°. (Ce volume contient, p. VIII, une bibliographie des publications antérieures.)
1886. Beco et Thonard. — Industrie minérale en Italie. (*Cuyper*, t. II, p. 11.)
1886. Primat. — Mémoire manuscrit à l'Ecole des mines.
1887. Relazione sulle miniere di ferro dell'isola d'Elba.

MINE DE FER DE BENI-SAF (LA TAFNA[1])

(Lentilles d'hématite paraissant résulter d'épanchements sur des schistes liasiques.)

La mine de Beni-Saf, appartenant à la compagnie de Mokta el Hadid[2], se trouve sur la côte d'Algérie, dans la province d'Oran, près de l'embouchure de la Tafna[3].

Le gisement, qui paraît filonien et d'âge tertiaire, se compose d'une série d'énormes lentilles en chapelet, réunies par des parties minces, au milieu de schistes probablement liasiques. Entourés par des dépôts crétacés et miocènes, les schistes sont gris ou

[1] Coll. *École des Mines*, 1934.
[2] Voir page 721.
[3] On s'y rend en voiture de Tlemcen ou d'Aïn-Temouchent.

roses, très métamorphisés et talqueux; au contact du minerai, on les trouve décomposés en kaolin blanc. Ils sont accompagnés, au voisinage du gisement, par des calcaires compacts; en outre, au milieu de l'hématite elle-même, on retrouve d'autres calcaires corrodés, poreux et siliceux, que traversent souvent des veines d'oligiste en fines lamelles brillantes, qui offrent des passages progressifs à l'hématite schisteuse. Il semble y avoir eu là, comme toutes les fois qu'un gisement de fer s'est trouvé en relation avec des calcaires, des phénomènes complexes de substitution.

Le *minerai* se compose d'hématite rouge sombre ou bleu noirâtre, presque partout excessivement friable et tombant en poussière : ce qui empêche de l'utiliser dans les usines françaises où l'on exige du gros. Il donne jusqu'à 67 p. 100 de fonte et tient 2 à 3 p. 100 de manganèse, pas de silice, pas de soufre ni de phosphore, le reste étant seulement du carbonate de chaux.

Les lentilles successives qui constituent le gisement forment une couche, très inclinée vers le Sud, de direction Est-Ouest. Vers l'Ouest de la concession, la couche se retourne au Nord par un coude brusque. Ces lentilles, de bien plus grandes dimensions qu'à Mokta, atteignent, pour l'une, 100 mètres de puissance en minerai presque pur sur 4 à 500 mètres de longueur.

Si l'on part de l'extrémité Est du gisement, on trouve d'abord un grand découvert où le minerai et le calcaire forment des masses enchevêtrées irrégulièrement, mais toujours entre un toit et un mur bien net. Vers l'Ouest, le gîte s'amincit brusquement jusqu'au grand découvert, situé sur la lentille dont nous avons donné plus haut les dimensions. Au delà, il se recourbe vers le Nord, jusqu'aux limites de la concession. Au coude même, on connaît un minerai extra-riche (67 p. 100 de fer) noir bleu, pulvérulent, complètement englobé dans le calcaire.

En coupe transversale, ce gisement présente une allure très particulière (fig. 153 et 154).

On peut remarquer d'abord que le minerai semble s'épancher par-dessus les schistes du mur vers l'affleurement. Il en résulte, dans la partie Ouest, un placage peu épais de minerai très calcaire et pauvre, dit « triage », (à 40 ou 45 p. 100 de fer).

Ce fait que l'on peut rapprocher de ce que nous avons vu à

l'île d'Elbe, à Bilbao, etc., semble prouver que le gîte a été formé par une venue hydrothermale postérieure au mouvement tertiaire ayant amené les schistes dans leur position actuelle. M. Pouyanne a remarqué, d'ailleurs, que des filons ferrugineux en relation avec le minerai de Tafna se prolongeaient dans le crétacé qui entoure ces schistes liasiques et qu'on trouve des fragments de minerai dans un poudingue rattaché au miocène.

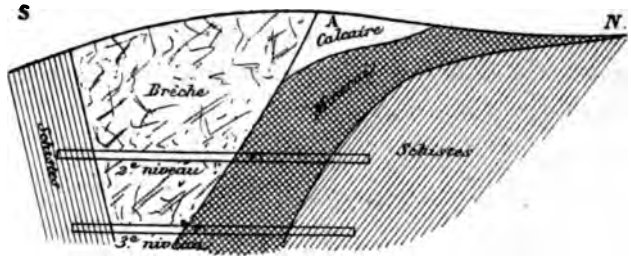


Fig. 153. — Coupe dans le grand découvert du gîte de fer de la Tafna.

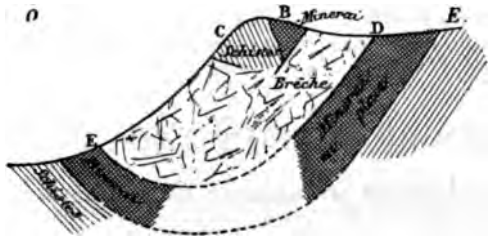


Fig. 154. — Coupe prise dans la partie Ouest (dirigée N.-S.) du gîte de la Tafna.

On doit, en outre, signaler la présence fréquente, au-dessus du minerai, des calcaires imparfaitement attaqués et, par-dessus ceux-ci, d'une énorme brèche contenant des blocs arrondis de minerai, de calcaire, de schistes, etc., atteignant 25 mètres de diamètre et cimentés par une pâte argileuse (voir fig. 153 et 154). Cette brèche est absolument continue tout le long de la couche de minerai, toujours au toit; en profondeur, elle se termine en biseau. Dans la coupe (fig. 154), il semble falloir rattacher à cette brèche le minerai B et le schiste C et admettre que, de D en E, on a affaire à une cuvette remplie par de la brèche à éléments énormes dont la formation n'a pas encore été bien expliquée.

La production actuelle de cette mine est d'environ 350 000

tonnes (250 702 à 8 fr. 50, en 1888 ; 344 485, valant 3 099 465 ; en 1890) ; on la considère comme assurée pour quatorze ans. Les minerais sont exportés surtout en Amérique [1] et un peu en Angleterre. Les ouvriers sont au nombre de 300 à l'abatage, 1 000 en tout. On admet un rendement de 6 tonnes (stérile compris) par jour et par ouvrier mineur.

Dans le prolongement du filon de Beni-Saf, on fait actuellement, à *Camerata*, des recherches qui ont permis de reconnaître l'existence d'affleurements analogues avec mêmes épanchements, mais non accompagnés de brèche. En profondeur, ce gîte semble peu régulier et toujours mince.

Bibliographie.

1852. Ville. — Sur les minerais de fer de l'Ouest de la province d'Oran. (*B. S. G.*, 2e, t. IV, p. 377.)
1876. Pouyanne. — (*Ann. d. M.*, 1876, t. IX.)
1884. Czyskowski, p. 508.
1890. Friedel. — Journal de voyage manuscrit à l'École des mines, p. 117.

FER DE TUNISIE (TABARKA) [2]

(*Épanchements ferrugineux sur le Suessonien.*)

On peut rapprocher des faits d'épanchements superficiels que nous avons signalés à l'île d'Elbe et à la Tafna, la description qui a été donnée par M. Fuchs des gisements de Tabarka en Tunisie. Ces gîtes sont situés dans le pays des Kroumirs, à la frontière de Tunisie et de la province de Constantine, sur les territoires des tribus des *Meknas*, des *Nefzas* et des *Moghodi*.

Les premiers, ceux des Meknas, ont été concédés, avec la baie et l'île de Tabarka, à la Compagnie de Mokta, qui attend un moment favorable pour les mettre en valeur ; les autres, avec un port au cap Serrat, à la Société d'études des mines de Tabarka. Aucune exploitation n'a encore été commencée à notre connaissance.

[1] Les minerais américains du lac Michigan ont à subir un transport trop long pour arriver à la côte et y faire concurrence aux minerais méditerranéens.

[2] Coll. *École des Mines*, 1935.

Géologie générale de la région. — C'est essentiellement au ter-
in tertiaire qu'appartiennent les terrains de la région. Celle-ci est
nstituée par un niveau assez uniforme que l'on rattache, comme
lui de la province de Constantine, au terrain éocène inférieur
uessonien) et au miocène. Les collines qui entourent les con-
ncessions sont formées par un grès quartzeux surmonté d'une
uche sableuse à Ostrea, qui le classe à la fin du miocène.
Le *minerai* et les *conglomérats minéralisés* qui constituent le
ement occupent, en général, la partie haute des collines et
posent sur des marnes ou des argiles marneuses du terrain
essonien.
On ne signale, comme roche éruptive, qu'une venue de roche
phibolique qui recoupe nettement les grès, et par conséquent,
post-miocène ; elle paraît se rattacher à un gîte de cuivre qui
fait autrefois l'objet d'une exploitation et d'un traitement sur
ace.

Nature des minerais. — Les minerais sont principalement des *matites brunes ou rouges* assez manganésifères et du *fer oligiste icacé.*
Les minerais de la région des Meknas (Raz Radghel) ont une
neur notablement plus élevée ; ils constituent, comme nous
vons dit, la concession de la compagnie de Mokta.
Ceux des trois concessions des Nefzas offrent la composition
ivante :

	Tamera	Bourchiba	Oued bou Zenna
Fe^2O^3	79	75	74,2
Oxyde rouge de mang .	2,55	9,4	2,3
PhO^5	0,055	0,041	0,07

On voit donc que la teneur en fer ne dépasse guère 55 p. 100.
manganèse atteint, en général, la proportion des minerais si
putés de Bilbao. Le phosphore n'a qu'une teneur insignifiante.
Quant au fer oligiste, qui est en proportion assez notable sur
rive droite de l'Oued bou Zenna, sa teneur en fer est de 60 à
p. 100.

Disposition des gîtes. — Ces gîtes sont disposés en poches et en
ouches assez discontinues. Ils paraissent, d'après M. Fuchs, avoir

été produits par des émissions hydrothermales, par des sources dont les dépôts se sont effectués d'une manière assez régulière au voisinage de leur point d'émergence.

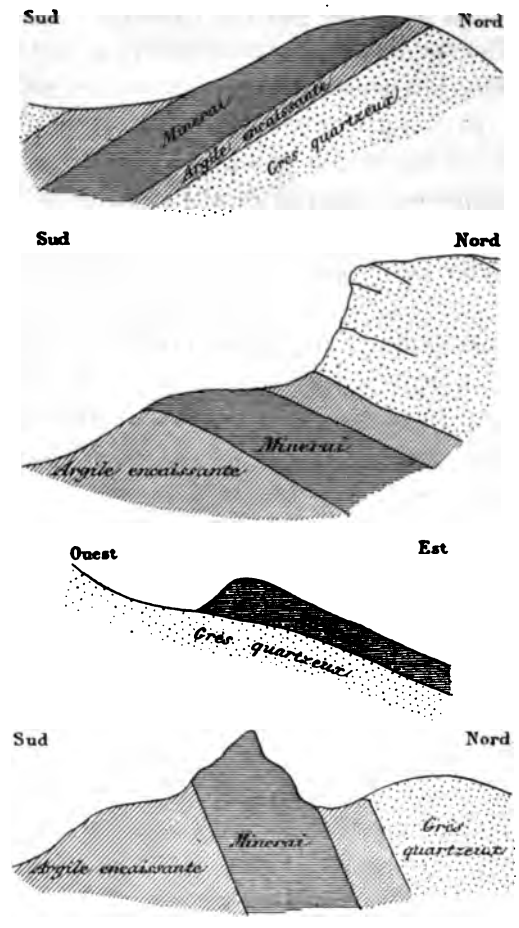


Fig. 155, 156, 157, 158. — Coupes verticales du gîte de Tabarka, d'après M. Fuchs.

Le terrain gréseux ayant été disloqué et relevé à l'époque miocène par suite du grand mouvement qui a affecté tout le Nord de l'Afrique et qui est peut-être contemporain du soulèvement des Alpes occidentales, les couches sont, tantôt planes, tantôt fortement inclinées et forment souvent des crêtes saillantes de minerai, quelquefois très pur.

Le minerai se présente : tantôt en masses compactes et pures, tantôt sous la forme de blocs empâtés dans une argile rouge, constituant une sorte de conglomérat plus ou moins fortement minéralisé et quelquefois exploitable.

Partout ou presque partout où l'on a traversé la couche de minerai ou de conglomérat, on a trouvé qu'elle reposait sur une couche d'argile blanche ou bleuâtre, souvent à structure schisteuse, qui, elle-même, repose sur le grès quartzeux miocène. Ces argiles sont l'équivalent probable des marnes suessoniennes de la région

Nous donnons, sur les figures ci-jointes 159 à 162, différentes

coupes résultant des explorations ou des travaux de recherche.

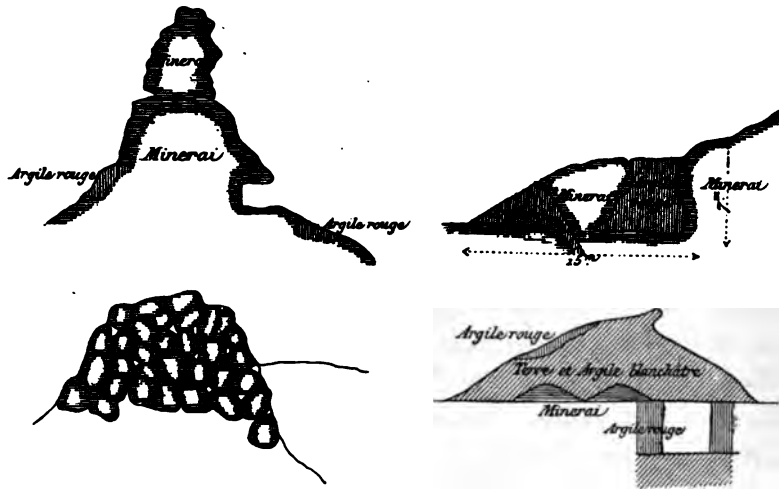


Fig. 159, 160, 161, 162.
Coupes diverses montrant l'allure du minerai de Tabarca.

Cubage des gîtes. — Des cubages approximatifs ont donné, pour les trois concessions des Nefzas et des Moghadi :

Concession de Tamera	1 112 000 tonnes.
Concession d'Oued-bou-Zenna . .	1 865 000 —
Concession de Bourchiba.	2 000 000 —
Total.	5 000 000 t. environ.

On se propose, pour exploiter ces trois concessions, d'établir un chemin de fer de 40 kilomètres et un port au cap Serrat.

FER DES LACS ET DES MARAIS

Il est intéressant, pour terminer ce qui est relatif aux gîtes de fer sédimentaires, de dire quelques mots des minerais de lacs ou de marais qui se déposent de nos jours dans un certain nombre de pays tels que la basse Lusace, la Silésie, la Pologne, le Banat, le Jutland, la Finlande, les bords du Donetz et les lacs de Scandinavie, particulièrement dans les provinces suédoises de

Smaland, Vestergœtland, Dalarne, Herjeadalen, Jemtland et Norrland.

Les minerais lacustres reposent généralement sur un fond sableux à 10 mètres environ du rivage et s'étendent jusqu'à une profondeur de 10 mètres au-dessous du niveau des eaux. Les amas stratifiés qu'ils forment ont rarement $0^m,50$ de puissance, mais ils peuvent être exploités dès qu'ils ont de $0^m,10$ à $0^m,15$ d'épaisseur. L'observation indique, paraît-il, que ces couches se renouvellent dans une période de quinze à trente ans environ. Les minerais lacustres sont, au commencement, une boue ocreuse grise, noire, brune ou verdâtre, renfermant beaucoup de silice gélatineuse. En durcissant, ces ocres se concrétionnent souvent en petites boules ou en lentilles aplaties, formant ainsi des masses analogues aux hématites brunes terreuses. Ces minerais contiennent toujours une certaine quantité de phosphore provenant de plantes, en particulier d'algues (gallionella ferruginea) qui ont la propriété de précipiter le fer contenu dans l'eau en solutions étendues de carbonate ou de sulfate. M. Daubrée a montré que le fer des terrains superficiels commence par se dissoudre sous l'influence de certains produits de la pourriture des végétaux, en particulier de l'acide crénique (Berzelius), puis se reprécipite au contact de l'air et, lorsque le phénomène se produit dans une rivière, va s'accumuler aux points tranquilles.

Dans toutes les régions où des eaux ferrugineuses sont stagnantes par suite de l'imperméabilité du sous-sol, il se forme, de même, des minerais dits des marais ou des prairies ; ainsi, dans la dépression du Nord de l'Europe qui s'étend sur la Hollande, l'Allemagne du Nord, la Pologne et la Russie, puis sur les plateaux montagneux de l'Allemagne centrale, Riesen-Gebirge, Harz, etc. Ces dépôts sont très répandus et ont des allures irrégulières correspondant à des circonstances locales variables. C'est ainsi qu'ils suivent parfois un cours d'eau pendant plusieurs lieues sur 10 mètres de large. On y trouve alors à peine quelques indices de stratification. Leur mur est formé, soit d'un sable mouvant fin et humide, soit d'une argile sableuse fine.

Ces formations contemporaines peuvent donner quelque indication sur la façon dont se sont déposées les hématites brunes

oolithiques anciennes; cependant, dans ce cas, les conditions étaient, en général, fort différentes, puisqu'on a le plus souvent affaire à des sédiments marins [1].

Bibliographie.

FREISLEBEN. — (*Geognostiche arbeiten*, t. VI, p. 216-249.)
1823. SCHULTZ. — (*Grundgrisse der Bergbaukunde*, t. I.)
1836. De l'industrie minière en Finlande. (*Annuaire des mines de Russie.*)
KINDLER. — (*Poggendorf Annalen*, t. XXVII, p. 203.)
* 1846. DAUBRÉE. — Sur la formation du minerai de fer des marais. (*Ann. d. M.*, 4e, t. X, p. 37, et *B. S. G.*, 2e, t. III, p. 145.)
* 1881. V. GRODDECK, p. 410.

[1] Voir cependant les minerais crétacés lacustres du bas Boulonnais et de Wassy, p. 788.

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY